

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPIRITO SANTO**  
**CENTRO DE ARTES - PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**  
**ARQUITETURA E URBANISMO**

**TATIANA CAMELLO XAVIER**

**A INFLUÊNCIA DA ARBORIZAÇÃO NO MICROCLIMA URBANO: UM  
ESTUDO APLICADO À CIDADE DE VITÓRIA, ES**

**VITÓRIA**

**2017**

**TATIANA CAMELLO XAVIER**

**A INFLUÊNCIA DA ARBORIZAÇÃO NO MICROCLIMA URBANO: UM  
ESTUDO APLICADO À CIDADE DE VITÓRIA, ES**

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – PPGAU – da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Cristina Engel de Alvarez

VITÓRIA

2017

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)  
(Biblioteca Setorial do Centro de Artes da Universidade Federal do  
Espírito Santo, ES, Brasil)

Zilda Francisca de Oliveira – CRB-6 ES-000650/0

---

X3i      Xavier, Tatiana Camello, 1982-  
A influência da arborização no microclima urbano : um  
estudo aplicado à cidade de Vitória, ES / Tatiana Camello Xavier.  
– 2017.  
95 f. : il.

Orientador: Cristina Engel de Alvarez.  
Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) –  
Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Artes.

1. Vegetação urbana. 2. Climatologia urbana. 3. Vegetação e  
clima. 4. Simulação (Computadores). I. Alvarez, Cristina Engel  
de. II. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Artes.  
III. Título.

CDU: 72

---


TATIANA CAMELLO XAVIER

**"A INFLUÊNCIA DA ARBORIZAÇÃO NO MICROCLIMA URBANO:  
UM ESTUDO APLICADO À CIDADE DE VITÓRIA, ES"**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito final para a obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.


Aprovada em 16 de outubro de 2017.

Comissão Examinadora



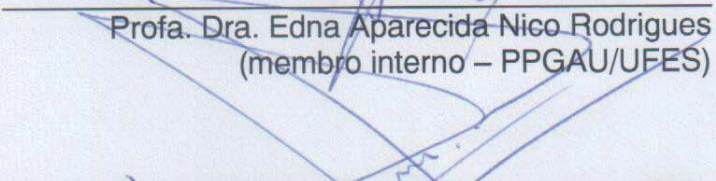
---

Profa. Dra. Cristina Engel de Alvarez  
(orientadora – PPGAU/UFES)



---

Profa. Dra. Edna Aparecida Nico Rodrigues  
(membro interno – PPGAU/UFES)



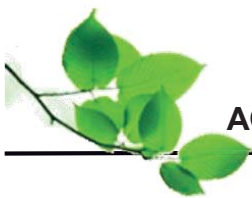
---

Profa. Dra. Denise Helena Silva Duarte  
(membro externo – FAUUSP)  
(via webconferência)

Dedico este trabalho aos aprendizados alcançados nos caminhos que a vida nos propõe. Ao meu pai, que nos deixa saudades, e à minha filha, que nos mostrou um amor imensurável e nos fortalece a cada dia para continuar este caminho.







## AGRADECIMENTOS

---

À Deus, mas não apenas por alcançar esta vitória, mas por me dar possibilidade e força para correr atrás do que eu desejo. E também por me mostrar que a vida é da maneira que escolhemos olhar para ela.

À Profª Drª Cristina Engel de Alvarez, minha orientadora, por aceitar me guiar nessa empreitada, por todos os ensinamentos, pela dedicação à minha pesquisa, pela paciência, pelo incentivo, pela sinceridade e por sempre acreditar em mim. Agradeço também por ser aquela que faz com que eu me esforce por não querer decepcionar. Agradeço por ser um exemplo e uma inspiração para mim, pessoal e profissionalmente. Por me entender e estar ao meu lado quando precisei.

À Profª Drª Edna Aparecida Nico Rodrigues por aceitar mais uma vez participar da minha banca. Contribuiu na minha banca de graduação e, agora, mais uma vez me permite aproveitar dos seus ensinamentos no mestrado. E por sempre estar disponível todas as vezes que necessitei de suas contribuições.

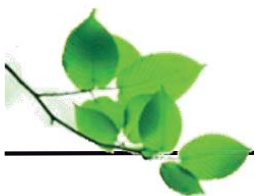
À Profª Drª Denise Helena Silva Duarte por aceitar gentilmente participar da minha banca de qualificação e de mestrado, com tamanha contribuição para o meu trabalho. E às suas alunas Carolina Gusson e Paula Shinzato pela consultoria a respeito do software ENVI-met.

À família LPP que esteve comigo me apoiando e me ajudando. Parceiros de trabalho e da vida. Presente que o mestrado me concedeu.

À Brenda e Laís pelas ajudas na pesquisa, nas medições e nas simulações, e por comprarem comigo esse desafio, dividindo as conquistas e as aflições.

Aos professores do PPGAU pelos ensinamentos. À Juliete pelo carinhoso atendimento e auxílio sempre. Aos colegas de mestrado por compartilharem conhecimentos e angústias, em especial à Stella Brunoro Hoppe.

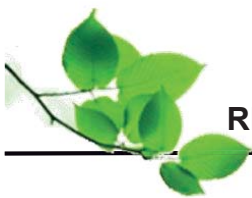
Ao meu marido, Leandro Ribeiro Almeida, pela paciência, pelo apoio e pelo companheirismo. Por sempre estar ao meu lado nas minhas escolhas. Por ser meu porto seguro.



Aos meus pais por estarem sempre comigo e acreditarem em mim, vibrando em cada conquista.

À minha filha, que participou desta pesquisa dentro do meu ventre, sem mesmo saber o que estava acontecendo. Por cada sorriso que me fortalece e, sem compreender, ter que lidar com a minha ausência.

À todos, meu sincero e carinhoso agradecimento.



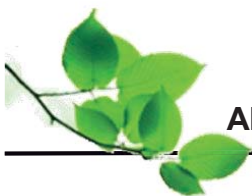
## RESUMO

---

O processo de urbanização traz para o meio natural várias modificações, dentre elas a remoção de grande parte da vegetação e a alteração dos materiais de superfície, além da inclusão de edificações e produção de poluentes. Essas modificações do meio contribuem para alterações climáticas, produzindo para a cidade o que se denomina clima urbano. A vegetação pode ser utilizada, entre outros aspectos, no intuito de reduzir o desconforto térmico comumente presente no ambiente urbano, principalmente em cidades que possuem clima tropical. Esta pesquisa teve como objetivo quantificar a influência da presença de vegetação no ambiente urbano, em função das interações solo-vegetação-atmosfera trabalhadas a partir de simulações com o *software* ENVI-met 3.1. A metodologia foi estabelecida a partir da realização de medições microclimáticas para calibração do modelo para a situação climática da área de estudo, sendo posteriormente realizadas as simulações, visando avaliar a influência da vegetação no microclima urbano, a partir de mapas termais gerais da área, gerados pelo *plugin* Leonardo, e gráficos de pontos específicos, destacando-se que o recorte territorial foi uma área previamente selecionada no bairro Mata da Praia, na cidade de Vitória (ES). A partir dos mapas termais verificou-se a diferença de temperatura nas áreas que possuem maior concentração de vegetação, e também, de umidade. Os trechos mais arborizados tanto nas praças e no parque, quanto nas vias, registraram temperaturas mais baixas e valores mais altos de umidade relativa, no verão e no inverno, na maioria dos horários analisados. A partir dos resultados, pode-se afirmar que a presença de vegetação no meio urbano corrobora para atenuar o rigor térmico, sendo registrada uma diferença máxima de temperatura de até 3,5°C no verão e 2,5°C no inverno, e 25% de umidade no verão e 32,5% no inverno, em situações extremas.

**Palavras-chave:** Vegetação urbana. Climatologia urbana. Vegetação e clima. Simulação (Computadores).





## ABSTRACT

---

Urbanization process causes many changes to the natural environment, among which the removal of a large part of vegetation and the alteration of surface materials, besides the inclusion of buildings and production of pollutants. These environment alterations contribute to climate changes, causing for the city what is called urban climate. Vegetation can be used, among other aspects, in order to reduce thermal discomfort commonly present in urban environment, mainly in cities with tropical weather. The goal of this research was to quantify the influence of the presence of vegetation in urban climate, due to the interactions soil-vegetation-atmosphere worked out from simulations with ENVI-met 3.1 software. The methodology was established from the holding of microclimatic measurements for calibration of the model for the climate situation of the research area, as simulations were later carried out, aiming to evaluate the influence of vegetation in urban microclimate, based on general thermal maps of the area, generated by the plugin Leonardo, and graphics of specific points, highlighting that the territorial clipping was an area previously selected on Mata da Praia neighborhood, in the city of Vitoria, ES, Brazil. From thermal maps, the temperature difference in areas with larger amount of vegetation and also humidity was verified. The more wooded stretches, whether in the squares and park, or in the streets, had lower temperatures and higher relative humidity registered, both in the summer and in the winter, in most of the analysed schedules. From the results, it can be affirmed that the presence of vegetation in the urban environment contributes to mitigate thermal rigor, as it was registered a maximum temperature difference of up to 3.5° C in summer and 2.5° C in winter, and 25% of humidity in summer and 32.5% in winter, in extreme situations.

**Keywords:** Urban Vegetation. Urban climatology. Vegetation and climate. Simulation (computers).

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Perfil geral da ilha de calor urbana.....	27
Figura 2 – Esquema das escalas climáticas e das camadas verticais encontradas em áreas urbanas .....	29
Figura 3 – Disposição e densidade da estrutura vegetal para classificação da estrutura arbórea.....	33
Figura 4 – Fluxograma dos procedimentos metodológicos .....	36
Figura 5 – Estrutura detalhada do ENVI-met.....	40
Figura 6 – Layout básico do modelo ENVI-met.....	42
Figura 7 – À esquerda, miniestação e à direita, Data Logger, utilizados nas medições microclimáticas.....	45
Figura 8 – Mapa de localização do município de Vitória no Brasil .....	46
Figura 9 – Delimitação da área de estudo.....	48
Figura 10 – Área de estudo .....	49
Figura 11 – Base gráfica com as informações físicas da área de estudo .....	50
Figura 12 – Imagem da inserção dos dados no arquivo .in do programa ENVI-met 3.1 .....	54
Figura 13 – Inserção de dados no domínio do modelo .....	54
Figura 14 – Ferramenta de inspeção do ENVI-met 3.1 .....	55
Figura 15 – Dados dos receptores inseridos no arquivo .cf do ENVI-met.....	58
Figura 16 – Área de estudo com definição dos pontos de amostragem.....	67
Figura 17 – Esquema de caracterização e localização dos pontos de amostragem climática .....	68
Figura 18 – Valores de temperatura potencial na área simulada para o período de verão (25/02/2006), às 9h .....	72
Figura 19 – Valores de umidade relativa na área simulada para o período de verão (25/02/2006), às 9h .....	73
Figura 20 – Demarcação das áreas com maior concentração de vegetação na área de estudo.....	73
Figura 21 – Esquema de sombreamento da área no verão (25/02), às 9h .....	74
Figura 22 – Valores de temperatura potencial na área simulada para o período de verão (25/02/2006), às 15h .....	75
Figura 23 – Indicação da localização da Avenida Rosendo Serapião de Souza Filho, do Parque Municipal Mata da Praia e da Praça Aristóbulo Inocêncio Ferreira .....	75
Figura 24 – Avenida Rosendo Serapião de Souza Filho .....	76
Figura 25 – Visão de céu na Avenida Serapião de S. Filho (1); visão de céu na rua entre o Parque Municipal Mata da Praia e a Praça Aristóbulo I. Ferreira (2). .....	76

Figura 26 – Valores de umidade relativa na área simulada para o período de verão (25/02/2006), às 15h .....	77
Figura 27 – Valores de temperatura potencial na área simulada para o período de verão (25/02/2006), às 21h .....	77
Figura 28 – Valores de umidade relativa na área simulada para o período de verão (25/02/2006), às 21h .....	78
Figura 29 – Valores de temperatura potencial na área simulada para o período de inverno (07/08/2017), às 9h.....	79
Figura 30 – Valores de umidade relativa na área simulada para o período de inverno (07/08/2017), às 9h .....	79
Figura 31 – Valores de temperatura potencial na área simulada para o período de inverno (07/08/2017), às 15h.....	80
Figura 32 – Valores de umidade relativa na área simulada para o período de inverno (07/08/2017), às 15h .....	81
Figura 33 – Valores de temperatura potencial na área simulada para o período de inverno (07/08/2017), às 21h.....	82
Figura 34 – Valores de umidade relativa na área simulada para o período de inverno (07/08/2017), às 21h .....	82

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Comparação de temperatura do ar entre os dados medidos e a estação meteorológica de referência .....	59
Gráfico 2 – Comparação de umidade relativa entre os dados medidos e a estação meteorológica de referência .....	60
Gráfico 3 – Comparação entre a temperatura medida e a simulada - pontos 1 e 2 ..	60
Gráfico 4 – Comparação entre a umidade relativa medida e a simulada - pontos 1 e 2 .....	61
Gráfico 5 – Comparação entre a temperatura medida e a simulada nos pontos 1 e 2, adotando a velocidade do vento de 0,5m/s .....	63
Gráfico 6 – Comparação entre a umidade relativa medida e a simulada nos pontos 1 e 2, adotando velocidade do vento de 0,5m/s .....	64
Gráfico 7 – Diagrama de dispersão e coeficiente de correlação de Pearson, referente à variável temperatura dos pontos 1 e 2 .....	64
Gráfico 8 – Diagrama de dispersão e coeficiente de correlação de Pearson, referente à variável umidade relativa dos pontos 1 e 2 .....	65
Gráfico 9 – Temperatura do ar no mês de fevereiro de 2006 (verão) – destaque para o dia analisado .....	66
Gráfico 10 – Temperatura do ar no mês de agosto de 2017 (inverno) – destaque para o dia analisado .....	67
Gráfico 11 – Comparação entre os valores de temperatura dos três receptores determinados, no período do verão.....	83
Gráfico 12 – Comparação entre os valores de umidade relativa dos três receptores determinados, no período do verão.....	83
Gráfico 13 – Comparação entre os valores de temperatura dos três receptores determinados, no período do inverno.....	84
Gráfico 14 – Comparação entre os valores de umidade relativa dos três receptores determinados, no período do inverno .....	84

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Organização das escalas espacial e temporal do clima .....	28
Quadro 2 – Normais Climatológicas (1961-1990) .....	47
Quadro 3 – Dados iniciais inseridos para simulação de calibração.....	56
Quadro 4 – Dados iniciais inseridos para simulação de verão e inverno .....	69

## LISTA DE SIGLAS

BDM – Banco de Dados Meteorológicos

CPTEC – Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos

ES – Espírito Santo

IAF – Índice de Área Foliar

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

IPCC – *International Panel on Climate Change*

ISSO – *International Organization for Standardization*

LABSOL – Laboratório de Energia Solar

NBR – Norma Brasileira Registrada

OMS – Organização Mundial de Saúde

PBL – *Planety Boundary Layer*

PMV – *Predicted Mean Vote*

SBAU – Sociedade Brasileira de Arborização Urbana

UBL – *Urban Boundary Layer*

UCL – *Urban Canopy Layer*

UTC – *Universal Time Coordinated*

WMO – *World Meteorological Organization*



# SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>2.</b>	<b>EMBASAMENTO CONCEITUAL .....</b>	<b>24</b>
2.1.	Clima Urbano .....	24
2.2.	Influência da Vegetação no Microclima Urbano .....	31
<b>3.</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>36</b>
3.1.	Software ENVI-met 3.1.....	39
3.2.	Medições Microclimáticas .....	44
3.3.	Definição e Caracterização da Área de Estudo.....	46
<b>4.</b>	<b>SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS .....</b>	<b>53</b>
4.1.	Simulações de Calibração .....	53
4.1.1.	Avaliação dos Resultados da Simulação de Calibração .....	59
4.2.	Simulações Principais.....	66
<b>5.</b>	<b>ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>72</b>
<b>6.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>88</b>
<b>7.</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>92</b>

1

Introdução



## 1. INTRODUÇÃO

O aumento da população e o consequente crescimento urbano desordenado têm alterado o ambiente natural e, também, o ambiente construído, ocasionando entre outras consequências, mudanças climáticas, levando também a uma eventual redução da qualidade de vida da população.

Metade da população mundial já se encontra na cidade e, é essa população que se encarrega da abundante emissão de gases do efeito estufa, responsável pelo aquecimento global. Modelos climáticos globais demonstram que até 2100 haverá um aumento na temperatura média global de até 4°C, justificando assim os estudos relacionados à busca de estratégias para a redução dos impactos especialmente nas áreas urbanas consolidadas (BACK; OLIVEIRA, 2010).

Segundo Labaki e outros (2011) vários estudos climáticos vêm sendo desenvolvidos, com focos distintos, mas com o intuito de compreender quais fatores influenciam nas alterações climáticas. Porém, de acordo com Hebbert e Jankovic (2013), os estudos acerca do clima global demoraram para incluir o fenômeno urbano, conceituando-o como uma anomalia, e considerando as estações climáticas da cidade uma deformação na grade sinóptica. Nesse contexto, os mesmos autores afirmam que as cidades nem mesmo foram citadas no Protocolo de Kyoto e foram negligenciadas no terceiro relatório de avaliação (R3) do *International Panel on Climate Change – IPCC*, sendo somente citadas posteriormente no quarto e no quinto relatório (R4 e R5).

Em 2007, a urbanização apareceu pela primeira vez como um fator a ser considerado em relação às mudanças climáticas. As cidades passaram a ser tema na literatura, sendo incorporadas na política climática global, aparecendo tanto como agentes causais como alvos vulneráveis. A descoberta da mudança climática global coincidiu com o momento em que a população citadina ultrapassou o número de habitantes rurais (HEBBERT; JANKOVIC, 2013).

Na maioria das cidades brasileiras, o processo de urbanização aconteceu mais desorganizado do que planejado, deixando as questões ambientais em segundo plano em contraponto às questões econômicas e sociais (MONTEIRO, 2003). No entanto, a qualidade de vida do ser humano está intimamente ligada às ações do mesmo no meio natural urbano. Desde 1985, Lombardo (1985), já afirmava o conceito de a

cidade, se configurar como a maior expressão social do espaço produzido, podendo gerar problemas ambientais de maior abrangência quando construída de forma desordenada, cujas sequelas vão desde a emissão de poluentes até a degradação do solo, provocando consequências como o desconforto ambiental em vários aspectos, especialmente térmico, acústico e visual.

No processo de urbanização, o meio urbano substitui a superfície natural por edificações e revestimentos, materiais fabricados – geralmente impermeáveis e com propriedades térmicas e radiativas diferentes –, provocando alterações no movimento do ar na superfície devido à modificação da rugosidade, bem como alterações no balanço da radiação em consequência dessas superfícies possuírem albedo e capacidade calorífica diferentes. Também as atividades humanas interferem no balanço climático, gerando calor e partículas advindas dos processos de combustão ocasionando uma atmosfera mais turva (MILLS *et al.*, 2010; BACK; OLIVEIRA, 2010).

Para Stone (apud DUARTE, 2015, p. 12), o efeito estufa global não é a causa primordial do aquecimento das cidades, mas sim a perda de vegetação e as emissões dos homens e seus veículos; das edificações e das indústrias. A alteração do uso do solo e as emissões de calor antropogênico no ambiente urbano expressam maior influência no aquecimento do que a emissão de gases do efeito estufa.

Back e Oliveira (2010) afirmam que a vegetação é um elemento de significativa contribuição para o controle do clima e a constituição de microclimas mais agradáveis, visto que produz sombra evitando a radiação solar excessiva; absorve a radiação para seu processo de evapotranspiração resfriando e umidificando o ar e, ainda, filtra e absorve poluentes.

De acordo com estudos desenvolvidos por Abreu e Labaki (2010), as espécies arbóreas influenciam na sensação de conforto térmico do seu entorno imediato devido a sua característica termorreguladora, que conserva a temperatura e a umidade relativa do ar à sua volta em uma faixa ideal para seu sustento. Destaca-se ainda que o conhecimento sobre a contribuição da vegetação no conforto térmico permite aproveitar melhor suas características termorreguladoras, seja na escolha de espécies mais adequadas, seja na forma de implantação e distribuição espacial.

O interior de fragmentos florestais, caracterizado pela vegetação densa e estratificada, apresenta temperatura mais baixa, umidade relativa do ar mais alta e velocidade do ar com baixa amplitude, possuindo estabilidade ao longo do dia, propiciando um microclima que contribui para o conforto térmico, especialmente em locais de clima tropical úmido. Assim, a presença de fragmentos florestais no meio urbano também pode auxiliar na melhoria da eficiência energética das construções circundantes (DACANAL; LABAKI; SILVA, 2010).

A relação entre a quantidade de área verde de um local e o número de habitantes é um indicativo de qualidade de vida. A OMS - Organização Mundial de Saúde indicou em 1997 que deveria ter 9m<sup>2</sup> de área verde para cada habitante de uma região para balizar o desenvolvimento urbano em áreas da América Latina e do Caribe. A indicação no Brasil é que se tenha uma área de 15m<sup>2</sup> de área verde para cada habitante de acordo com a SBAU - Sociedade Brasileira de Arborização Urbana (SBAU, 1996). Embora esse valor tenha sido estabelecido em 1996, ou seja, a mais de 20 anos, não há registro de novas propostas ou de valores diferentes de acordo com as características do lugar.

Para se alcançar um balanço térmico adequado para o meio urbano, Oke (1973) detectou em seus estudos, a necessidade das áreas verdes terem uma abrangência de 30% da área, sendo considerada uma área com características similares de deserto quando esse índice é menor que 5%.

Embora seja reconhecida a influência da vegetação no microclima urbano, o objetivo deste trabalho é avaliar o quanto a arborização, em algumas diferentes formas de inserção, contribui para atenuar a temperatura e aumentar os valores de umidade, a partir de medições microclimáticas e do *software* de simulação computacional ENVI-met. Para essa avaliação o recorte territorial escolhido foi uma área urbana do bairro Mata da Praia, na cidade de Vitória (ES). Partindo da premissa que a arborização tende a amenizar os efeitos negativos da urbanização sobre o clima urbano de cidades tropicais; que a mesma pode induzir à redução da temperatura e o aumento da umidade do ar; e que uma distribuição arbórea satisfatória é uma estratégia adequada para reduzir o desconforto térmico em cidades com clima como o de Vitória, foram determinados os seguintes **pressupostos** de trabalho:

1 – As diferentes configurações de inserção de vegetação impactam de forma diferente no microclima urbano;

2 – A cidade de Vitória não possui uma distribuição arbórea homogênea que auxilie na amenização da temperatura e no aumento da umidade; e

3 – Que a arborização distribuída ao longo das vias auxilia na produção de um microclima urbano mais agradável de forma mais eficiente do que as áreas verdes concentradas.

Desse modo, o **objetivo geral** desta pesquisa é avaliar a influência da arborização no meio urbano no que diz respeito à propiciar um microclima mais agradável termicamente em cidades com clima tropical, quantificando os ganhos advindos de diferentes configurações de implantação arbóreas e considerando diferentes variáveis climáticas.

Para alcançar o objetivo principal estabelecido, foram delineados os seguintes **objetivos específicos**:

1 – Realizar a calibração do programa de simulação computacional ENVI-met para a situação climática de Vitória;

2 – Avaliar o impacto que diferentes formas de configuração de arborização no meio urbano incidem nas variáveis climáticas temperatura e umidade;

3 – Avaliar se a distribuição arbórea da área de estudo é favorável para a formação de um microclima urbano mais ameno; e

4 – Propor diretrizes para a utilização da arborização como estratégia de propiciar um microclima mais agradável em aglomerados urbanos de clima tropical.

Este estudo **justifica-se** considerando que, segundo Ayoade (2011), é necessário ampliar as pesquisas sobre o ambiente atmosférico, visto que inadvertidamente o homem tem influenciado no clima global, com a urbanização, a industrialização, a agricultura e a modificação da vegetação natural, sendo uma das maiores consequências a produção de calor e, com isso, o aumento da temperatura média mundial. Assim, é de grande importância investir nos estudos climáticos, principalmente nos países tropicais em desenvolvimento, a fim de fornecer subsídios



que permitam a adoção de medidas que visam minimizar os efeitos prejudiciais ao clima e ao conforto urbano.

Apesar do conhecimento a respeito da evapotranspiração da vegetação como elemento colaborador na mitigação da radiação solar e da temperatura, conforme afirmam Abreu (2008) e Labaki e outros (2011), pouco se conhece sobre a mensuração desses benefícios. O conhecimento desses dados é fundamental para uma consciente utilização da vegetação no planejamento urbano, no que diz respeito à alteração das variáveis climáticas, e, segundo Abreu e Labaki (2010), para que haja proveito dos seus benefícios de acordo com as características específicas locais.

Considerando a dificuldade de realizar medições efetivas para a avaliação da influência da vegetação em determinados locais, a simulação computacional permite que sejam avaliados os cenários reais e os efeitos das possíveis proposições, ainda no âmbito do projeto. Assim, com baixo investimento, é possível verificar se a arborização de um local está – ou será – satisfatória ou não e, se for o caso, propor alternativas de uso da arborização visando obter o melhor desempenho no que diz respeito ao conforto térmico.

Além disso, como afirma Oke (2006), cada cidade possui características próprias, o que transforma o estudo do clima urbano desafiador, mas também necessário para entender o comportamento climático de cada localidade a fim de fundamentar a urbanização, o planejamento e o desenvolvimento de políticas no ambiente urbano com foco na sustentabilidade.

Para o desenvolvimento da pesquisa, o **método** adotado pode ser caracterizado como indutivo experimental, visto que trata do levantamento de campo feito a partir de visitas *in loco* e de medições microclimáticas; sendo também comparativo, considerando a etapa de confrontação dos dados levantados e simulados com os medidos, avaliando diferentes configurações arbóreas e seu efeito em diferentes variáveis climáticas.

A estruturação da dissertação compreende 8 capítulos, sendo o **capítulo 1** a introdução, contextualizando a influência do desenvolvimento das cidades e a alteração climática, ressaltando-se a importância da vegetação como mecanismo para atenuar o rigor térmico no microclima urbano, justificando a necessidade de mensurar

os ganhos possíveis a partir da implantação de diferentes tipos de distribuição arbórea.

O **capítulo 2** contempla o embasamento conceitual apresentando a base teórica sobre clima urbano, relatando de que forma o homem e a urbanização interferem sobre o mesmo, quais os impactos consequentes dessa interferência, e a necessidade de avaliar possibilidades de mitigar o rigor térmico gerado nas áreas urbanas.

A influência da vegetação no microclima urbano é evidenciada, elencando em quais variáveis climáticas e outros aspectos a vegetação pode interferir; devido a que fatores ela exerce essa influência, e de que forma essa influência acontece.

O **capítulo 3** consiste na explanação da metodologia que é empregada na pesquisa, detalhando as etapas estabelecidas e seus respectivos procedimentos. Neste item também são discriminados os materiais utilizados para o alcance dos objetivos. Ainda consta neste capítulo uma descrição sobre o *software* de simulação computacional utilizado e a organização das medições microclimáticas. Também é feita a delimitação e caracterização da área de estudo.

No **capítulo 4** são tratadas as simulações computacionais realizadas para gerar os dados da pesquisa. Inicialmente são descritos os procedimentos realizados para a simulação de calibração, feita para ajustar o programa às condições climáticas da cidade de Vitória e, após, da simulação principal.

No **capítulo 5** consta a análise dos resultados, avaliando os dados levantados a partir das distribuições arbóreas e das variáveis climáticas analisadas, tendo em vista as simulações computacionais e as medições microclimáticas, no intuito de verificar os ganhos relativos à produção de um microclima mais agradável termicamente que cada arranjo arbóreo pode propiciar.

As considerações finais são feitas no **capítulo 6**, onde explanam-se as conclusões acerca da análise feita a partir dos resultados alcançados. Neste capítulo, retomam-se as hipóteses levantadas, sendo ainda propostas sugestões para trabalhos futuros.

No **capítulo 7** são discriminadas as referências utilizadas no presente trabalho.

# 2

## Embasamento Conceitual

---



## **2. EMBASAMENTO CONCEITUAL**

Este capítulo consiste na revisão bibliográfica de conceitos básicos referente aos temas principais, apresentando uma síntese dos conceitos relacionados ao clima urbano e como este interfere no microclima, abordando ainda sobre a necessidade de buscar estratégias para amenizar o impacto negativo da ampliação do aquecimento ocasionado no meio urbano. Trata também da influência que a vegetação pode exercer nesse contexto.

### **2.1. Clima Urbano**

O espaço natural é modificado pelo homem na medida em que ele estabelece suas relações de produção e desenvolve novas condições de vida (LOMBARDO, 1985). O homem produz sobre o espaço natural a sua arquitetura, estruturando morfologicamente e funcionalmente, alterando o espaço primitivo natural com mudanças topográficas e vegetais, com a finalidade de retrabalhar a natureza às intenções do viver humano. Neste sentido, a cidade é o local que propicia mais concretamente a interação entre o homem e a natureza (MONTEIRO, 2003).

A alteração da forma urbana, ocasionada pela mudança na cobertura, tecido e geometria da superfície, e da função urbana, ou seja, as emissões antropogênicas de calor residual, vapor de água e materiais, que ocorrem em função da cidade, geram modificação da atmosfera em quase todos os aspectos. E, apesar dessas modificações serem conhecidas há quase dois séculos, apenas nas últimas quatro décadas começou-se a explorar a natureza dos processos causadores (MILLS, 2014).

A natureza é degradada para abrigar áreas densamente urbanizadas. É criado um ambiente artificial – a denominada natureza humanizada –, a partir das modificações que o ambiente sofre para a consolidação das cidades. A produção do homem no meio urbano impacta diretamente em sua qualidade de vida, até mesmo porque a urbanização intensa tem interferência direta sobre o clima (LOMBARDO, 1985).

O homem é afetado pelo clima, assim como o clima também é influenciado pelo homem. O clima irá interferir nas atividades do homem, no seu modo de vestir, na sua moradia, na sua vida social e nas atividades econômicas que desenvolve. O homem pode influenciar no clima intencionalmente ou não. Intencionalmente é de forma

limitada e acontece quando o homem quer ter o controle climático por um objetivo, que pode ser a instigação da precipitação para auxiliar na agricultura ou criando um microclima artificial que melhore o conforto fisiológico do ser humano. Mas o homem também pode alterar o clima sem intenção devido à suas atividades e ações, tal como a urbanização, industrialização e desmatamento, destacando-se que o mais forte impacto que o homem produz sobre o clima é nas áreas urbanas (AYOADE, 2011).

De acordo com Lombardo (1985), os fatores que indicam a degradação ambiental e relevantes expressões da alteração climática na cidade são os valores de temperatura e a concentração de poluentes. O mesmo autor afirma que a paisagem natural é alterada significativamente com a expansão das cidades e que a troposfera nos ambientes urbanos é modificada a partir de condições criadas devido ao aglomerado de áreas construídas, parques industriais, adensamento populacional, pavimentação asfáltica e a concentração de poluentes.

O processo de urbanização altera a natureza das superfícies e as propriedades atmosféricas de uma região, transformando as características radiativas, térmicas, de umidade e aerodinâmicas, ocasionando o deslocamento dos balanços solares e hidrológicos naturais (OKE, 1987). A partir das influências que esse processo de urbanização causa modificando os aspectos climáticos é originado o denominado clima urbano. Segundo Back e Oliveira (2010), esse processo também pode provocar a variação do regime de precipitações, alterar a ventilação e a umidade, eventualmente gerar desconforto térmico e, ainda, prejudicar o equilíbrio térmico em maior escala.

Ayoade (2011) confirma os conceitos adotados anteriormente, afirmando que o impacto que o homem produz sobre as áreas urbanas é tão forte que cria um clima bem diferente das áreas rurais que a circundam.

Entre os fatores que modificam o clima urbano estão a produção de calor a partir das propriedades térmicas das cidades e alteração das superfícies naturais vegetais por artificiais. Essas mudanças provocam, entre outros aspectos, o aumento da temperatura, podendo gerar um fenômeno bem comum nas áreas urbanas, com vastas implicações, que são as ilhas de calor (AYOADE, 2011).

Segundo Lombardo (1985), o fenômeno de ilha de calor advém da relação entre as ações antrópicas sobre o meio urbano e o meio físico com seus atributos geoecológicos. É resultado das alterações microclimáticas provocadas pelas transformações que o homem produz na superfície urbana (LANDSBERG, 1981). As ilhas de calor são formadas devido aos materiais existentes nas áreas urbanas possuírem superfícies de maior absorção térmica e reterem mais calor do que os materiais naturais existentes nas áreas rurais, além da impermeabilização do solo, redução da quantidade de vegetação, alteração da ação dos ventos e aumento da emissão de gases contaminando a atmosfera (LOMBARDO, 1985; GARTLAND, 2010). Esse fenômeno, na maioria das vezes, gera desconforto e problemas de saúde na população, além de elevar o gasto com energia e ocasionar mais poluição (GARTLAND, 2010).

Lombardo (1985) e Oke (2006) afirmam que as ilhas de calor são bolsões sobre as áreas urbanas criados pela mudança no balanço de energia que as cidades produzem, o que revela a perturbação que o homem causa na dinâmica dos sistemas ambientais, sendo os espaços urbanos os locais onde ocorrem a maior interferência do homem sobre a superfície terrestre.

De acordo com Back e Oliveira (2010), as cidades ficam mais quentes do que o meio rural, principalmente à noite, pois nesse período é liberado todo o calor acumulado no dia, o que dificulta o resfriamento noturno da atmosfera. Outro fenômeno que contribui para a acentuação da ilha de calor é a redução do resfriamento por evaporação, devido à redução da evapotranspiração com a limitação de áreas verdes e a impermeabilização de grande parte do solo.

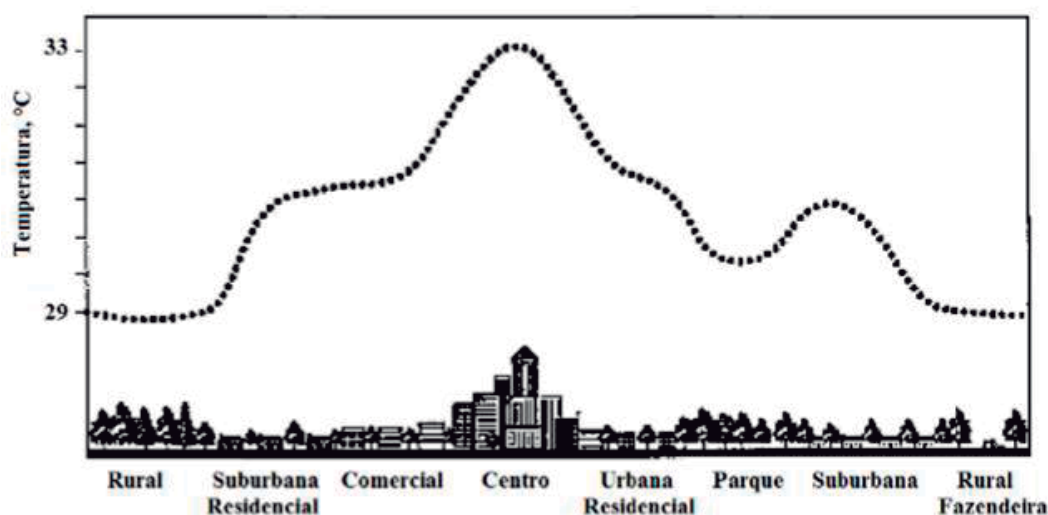
A temperatura atinge valores mais altos, de acordo com Lombardo (1985), nas áreas urbanas centrais e carentes de vegetação, e valores mais baixos nas áreas verdes e com reservatórios de água. Observa-se, ainda, que a umidade relativa do ar é reduzida com o aumento da temperatura.

Devido à acentuada atividade humana, ao alto número de veículos circulando, à presença de indústrias e de altas edificações, ao asfalto nas ruas e à redução das áreas verdes, a cidade se conceitua como um notável modificador do clima (BACK; OLIVEIRA, 2010).



Devido à estrutura da cidade não ser uniforme, possuindo em sua organização grandes e pequenas edificações, praças, parques e lagos, a intensidade da ilha de calor também não se comporta de maneira homogênea, existindo locais com temperaturas mais altas e outros com temperaturas mais baixas, conforme ilustra a Figura 1 (DEL CARPIO, 2014).

Figura 1 – Perfil geral da ilha de calor urbana



Fonte: Giridharan, Ganesan e Lau (2004, p.526).

De acordo com Del Carpio (2014), existem três tipos de ilha de calor: a da camada de dossel, da camada da fronteira, e a da superfície urbana. A camada de dossel urbana é a que fica entre a superfície e até abaixo dos tetos e coberturas das edificações, ou seja, é a camada mais próxima da superfície urbana. Logo acima tem-se a camada da fronteira. As duas camadas se relacionam ao aquecimento da atmosfera urbana, sendo que a camada de dossel urbana, é mais próxima da superfície e trabalha em um conceito de micro-escala, enquanto a camada da fronteira, por estar mais acima com dimensões horizontais que variam de um a cem quilômetros, trabalha em um nível de meso-escala. Já a ilha de calor da superfície urbana está relacionada ao aquecimento relativo das superfícies urbanas em comparação com as superfícies não urbanizadas que a circundam.

O estudo do clima pode ser feito a partir da dimensão espacial ou da dimensão temporal, sendo que a abordagem espacial é mais utilizada quando o propósito é geográfico ou de planejamento territorial. Sendo assim deve-se considerar as escalas espaciais que são a macroclimática, mesoclimática e microclimática. No entanto, não

existe um consenso a respeito da classificação da grandeza do clima. O Quadro 1 descreve os termos e as dimensões espaciais e temporais que obtêm maior concordância no âmbito climático-meteorológico (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007).

Quadro 1 – Organização das escalas espacial e temporal do clima

Ordem de grandeza	Subdivisões	Escala horizontal	Escala vertical	Temporalidade das variações mais representativas	Exemplificação espacial
Macroclima	Clima zonal Clima regional	> 2.000 km	3 a 12 km	Algumas semanas a vários decênios	O globo, um hemisfério, oceano, continente, os mares etc.
Mesoclima	Clima regional Clima local Topoclima	2.000 km a 10 km	12 km a 100 m	Várias horas a alguns dias	Região natural, montanha, região metropolitana, cidade etc.
Microclima		10 km a alguns m	Abaixo de 100 m	De minutos ao dia	Bosque, uma rua, uma edificação/casa etc.

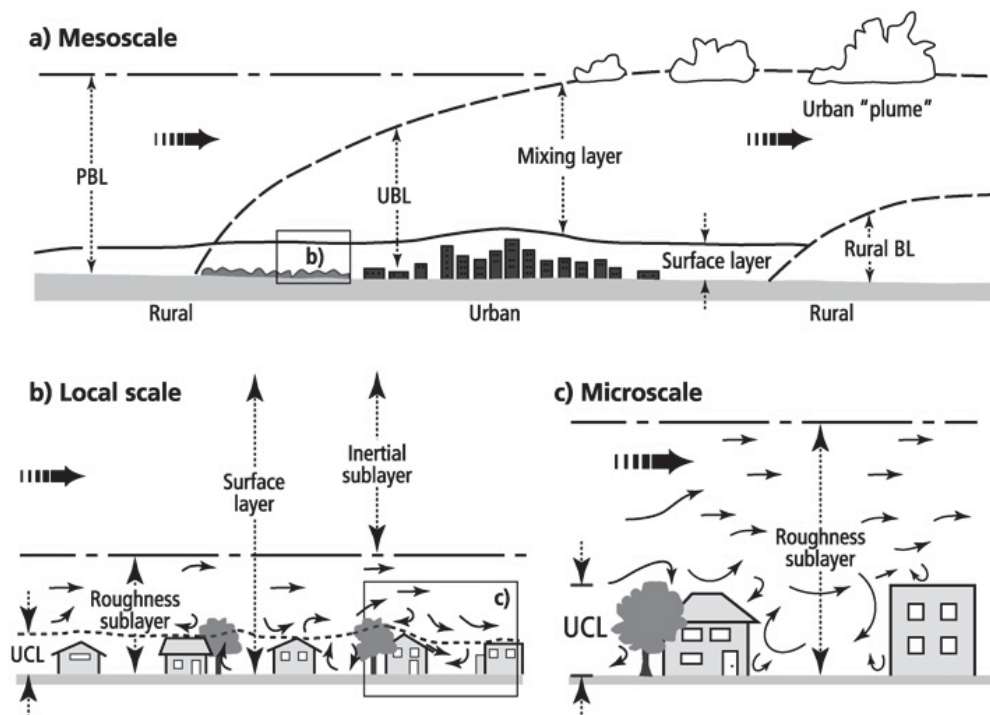
Fonte: Adaptado de Mendonça e Danni-Oliveira (2007, p. 23).

O Macroclima, de acordo com Mendonça e Danni-Oliveira (2007), se configura como uma abrangência maior, global, tratando-se de milhões de quilômetros, ligado a fatores geográficos e astronômicos maiores, como as divisões de relevo e continente. Já o Mesoclima trata de uma escala intermediária, englobando, por exemplo, o clima regional. Já o Microclima se caracteriza como a menor e mais imprecisa escala, englobando áreas de pequena extensão como uma rua.

Segundo Lombardo (1985, p. 22), o clima urbano “[...] é um mesoclima, que está incluído no macroclima e que sofre, na proximidade do solo, influências microclimáticas derivadas dos espaços urbanos”.

A Figura 2 retrata as três escalas de interesse para estudos climáticos: PBL – *Planetary Boundary Layer* (camada limite planetária), UBL – *Urban Boundary Layer* (camada limite urbana) e UCL – *Urban Canopy Layer* (dossel urbano), segundo Oke (2006).

Figura 2 – Esquema das escalas climáticas e das camadas verticais encontradas em áreas urbanas



Fonte: Oke (2006).

A UBL é um fenômeno que acontece a nível de mesoescala regido pela superfície urbana geral (OKE, 1987). Os efeitos da forma e da função das características distintas da cidade produzem a UBL, fazendo com que o ar tenha interações próprias com a superfície. As superfícies urbanas, que são aerodinamicamente ásperas e secas, fazem com que o ar se mova através da borda urbana experimentando as mudanças das propriedades da superfície, se tornando turbulento, quente e enriquecido por uma série de gases e partículas, transportando essas propriedades para a atmosfera subjacente. A não uniformidade das cidades ocasiona a formação das propriedades da UBL de acordo com suas características distintas de forma urbana e funções, que refletem a organização da área urbana (MILLS *et al.*, 2010).

A camada de ar abaixo das coberturas das edificações e das copas das árvores é denominada "urban canopy layer" (UCL), ou seja, é a zona de ocupação humana (MILLS *et al.*, 2010). Essa camada do dossel urbano é produzida por processos de microescala que operam nos "canyons" (OKE, 1987).

A respeito da microescala vale ressaltar que cada superfície e objeto tem seu próprio microclima agindo sobre ele e nas imediações. Pode haver variação em alguns graus

das temperaturas da superfície e do ar em distâncias muito curtas, e perturbação do fluxo de ar por objetos pequenos (OKE, 2006).

Nas cidades, diferentemente das áreas rurais, as trocas verticais de calor e umidade acontecem em uma superfície não plana, em uma camada de espessura significativa, que é a UCL (OKE, 2006).

A UCL, como é a camada mais próxima das áreas urbanizadas, consiste na camada mais complexa de ser analisada, já que abrange diferentes cenários de ocupação, edificações com diversas tipologias, implantações e orientações, vários materiais de revestimento, e também a vegetação com seus diferentes tipos e quantidades (GUSSON, 2014). De acordo com Mills e outros (2010), é a camada do dossel urbano que deve receber mais atenção quando se trata de consequências para os seres humanos.

Devido aos fatores citados, Lombardo (1985) já ressaltava desde 1985 a importância de se preocupar com as características do desenho físico urbano tais como, a distribuição das áreas verdes, os materiais de construção e o índice de área construída e espaços livres, no intuito de reduzir a interferência da urbanização no microclima.

Segundo Duarte (2015), o projeto e o planejamento – urbano e arquitetônico –, podem ser alinhados pelas legislações, como de uso e ocupação do solo e código de edificações, com uma responsabilidade climática visando um certo controle das variáveis ambientais. No entanto, segundo a mesma autora, ainda se encontra pouco conhecimento de climatologia presente no planejamento das cidades.

Os estudos sobre clima urbano, de acordo com Oke (2006), são recentes e trabalham aspectos sobre as interações atmosféricas e os assentamentos humanos, avaliando o impacto da atmosfera sobre o homem e suas atividades e, também, a influência do desenvolvimento da infraestrutura urbana e suas interações sobre os processos meteorológicos e fenômenos atmosféricos a curto e longo prazos.

## 2.2. Influência da Vegetação no Microclima Urbano

O aumento da urbanização causa alterações no clima das cidades devido a inserção de edificações e revestimentos no solo e, também, pela necessidade de adequação da cidade aos grandes fluxos de veículos, o que diminui as áreas vegetadas e, eventualmente, a arborização linear das grandes vias.

Na maioria das vezes, o crescimento urbano reduz as áreas vegetadas e também dificulta a inserção de novas espécies, pois grande parte do solo passa a ser compactado, ocasionando a falta de espaço para as raízes e, também, por gestão inadequada da vegetação arbórea. Com a redução de vegetação e de solos permeáveis, há um natural aumento do fluxo de calor sensível em relação ao calor latente (DUARTE, 2015).

Com a ausência de vegetação, o meio urbano perde superfícies evaporativas que auxiliariam nas trocas térmicas úmidas e, as superfícies do solo e das fachadas das edificações ficam expostas à radiação solar direta ao longo de todo o dia, provocando seu aquecimento, e consequentemente gerando o aumento da temperatura do ar (OKE, 1987).

Segundo Yu e Hien (2006) a característica de reguladora climática da vegetação a torna uma eficiente estratégia para moderar o aquecimento no meio urbano, contribuindo também para reduzir o efeito de ilhas de calor e criar um “efeito oásis”, mitigando o aquecimento em micro e macro escala. A inserção de vegetação ao redor de edificações evita, ainda, a radiação solar direta nas superfícies e também a radiação refletida, auxiliando o equilíbrio no balanço energético, sendo que este pode ser expandido para toda a cidade quando a vegetação é adicionada nas vias, praças e parques urbanos.

A configuração das cidades acaba contribuindo para a elevação de sua temperatura devido à atenuação do resfriamento evaporativo, reabsorção da radiação refletida pelas superfícies verticais de edifícios/*canyons* urbanos, baixa refletividade das superfícies e transmissão de calor antropogênico, sendo que a vegetação pode auxiliar na redução dos dois primeiros fatores (DUARTE, 2015).

A presença de vegetação, além de fornecer fontes de umidade para a evapotranspiração, também dissipa a radiação absorvida na forma de calor latente ao

invés de calor sensível, reduzindo a temperatura urbana. Uma árvore apenas já contribui para atenuar o clima, porém sua abrangência se restringe ao microclima. Áreas verdes e grandes parques urbanos produzem impactos no clima do ambiente construído ao seu redor (YU; HIEN, 2006).

O processo de evapotranspiração da planta, que compreende a perda associada de água através da transpiração estomática e cuticular da planta, reduzem os picos de temperatura diários de acordo com as condições climáticas locais (SHINZATO, 2014).

De acordo com Shinzato (2014, p. 22),

O efeito da evapotranspiração está diretamente relacionado com a resistência estomática que relaciona a quantidade dos estômatos nas folhas com uma adequada condição no solo (disponibilidade de água) e na atmosfera (disponibilidade de luz). Assim quando [sic] maior a área de exposição das folhas, maior o efeito. Neste sentido, o índice de área foliar – IAF tem uma relação direta com a quantidade de luz, energia e consumo de CO<sub>2</sub>.

A atenuação da temperatura do ar e o bloqueio da radiação solar incidente podem ser modificados de acordo com a disposição dos elementos arbóreos, alterando a sensação de conforto térmico do usuário. Com base nas pesquisas de Labaki e outros (2011), o agrupamento de espécies arbóreas possui uma escala maior de influência que uma espécie isolada. Assim, seu raio de influência e a inserção das mesmas deve ser estudada de acordo com as características e atividades usuais do local, como por exemplo, a necessidade de um local de passagem é diferente da necessidade de um local de estar.

De acordo com Yu e Hien (2006), um estudo feito para a cidade de Nova Tama, localizada no oeste de Tóquio, identificou que um parque de 0,6Km<sup>2</sup> pode reduzir a temperatura do ar em até 1,5°C ao meio dia em 1Km do seu entorno. Nesse estudo também se verificou que é possível economizar 4.000KWh de energia para refrigeração nas edificações do entorno geralmente gastos em 1h no período de 13 às 14h.

Em estudos por meio de cálculos numéricos para perceber os benefícios térmicos das áreas verdes urbanas, foi detectado que uma área de 100m possui um raio de influência de 300m, porém essa influência não ultrapassa um raio de 400m quando a área chega a 400m. Portanto, se constatou que a amplitude ideal do efeito de resfriamento é obtida quando a distância entre as áreas verdes são um pouco mais



que 300m, ou seja, áreas verdes menores com intervalos suficientes são mais vantajosas para o resfriamento urbano (YU; HIEN, 2006).

Yu e Hien (2006) citam um trabalho feito baseado em um modelo atmosférico de mesoescala no qual é verificada a possibilidade da vegetação urbana atuar como um importante agente na mudança do padrão de vento, temperatura, umidade e precipitações. Dessa forma, confirma-se que o planejamento da implantação arbórea na cidade pode atenuar a ação antropogênica advinda da inserção das edificações.

As temperaturas encontradas em parques podem variar de acordo com a densidade das plantas, ou seja, quando o índice de área foliar é maior, mais influência pode ter na redução da temperatura. Além disso, a direção do vento pode influenciar e, também, o layout e a altura das edificações do entorno (YU; HIEN, 2006).

De acordo com Labaki e outros (2011), o conforto térmico do usuário será uma consequência do clima do ambiente construído em que estará inserido e, também, das características que o ambiente possui, como a tipologia arquitetônica, a morfologia urbana e a composição das superfícies, por exemplo. A forma como os indivíduos arbóreos estão inseridos no meio urbano também afetará o conforto térmico, sendo que esses indivíduos podem se apresentar de maneira pura ou mista (espécie), com idade e crescimento diferentes, densidades distintas, diversas disposições e composições (Figura 3).

Figura 3 – Disposição e densidade da estrutura vegetal para classificação da estrutura arbórea



Fonte: Peixoto, Labaki e Santos (1995) apud Labaki e outros (2011, p. 26).

De acordo com Shinzato (2014), a influência da vegetação depende, além do índice de área foliar (IAF), também da tipologia, densidade e distribuição geométrica das

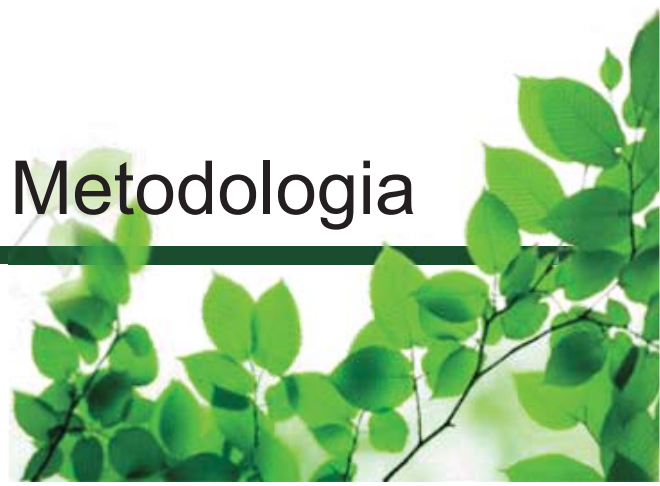
aberturas na copa, conseqüentemente com o efeito de sombreamento que a árvore é capaz de prover.

A disposição dos elementos arbóreos pode reduzir a temperatura do ar e atenuar a radiação incidente, corroborando para a sensação de conforto do pedestre. A redução de 1°C na temperatura do ar pode representar até 3°C na sensação de conforto do indivíduo, conforme Labaki e outros (2011).

# 3

## Metodologia

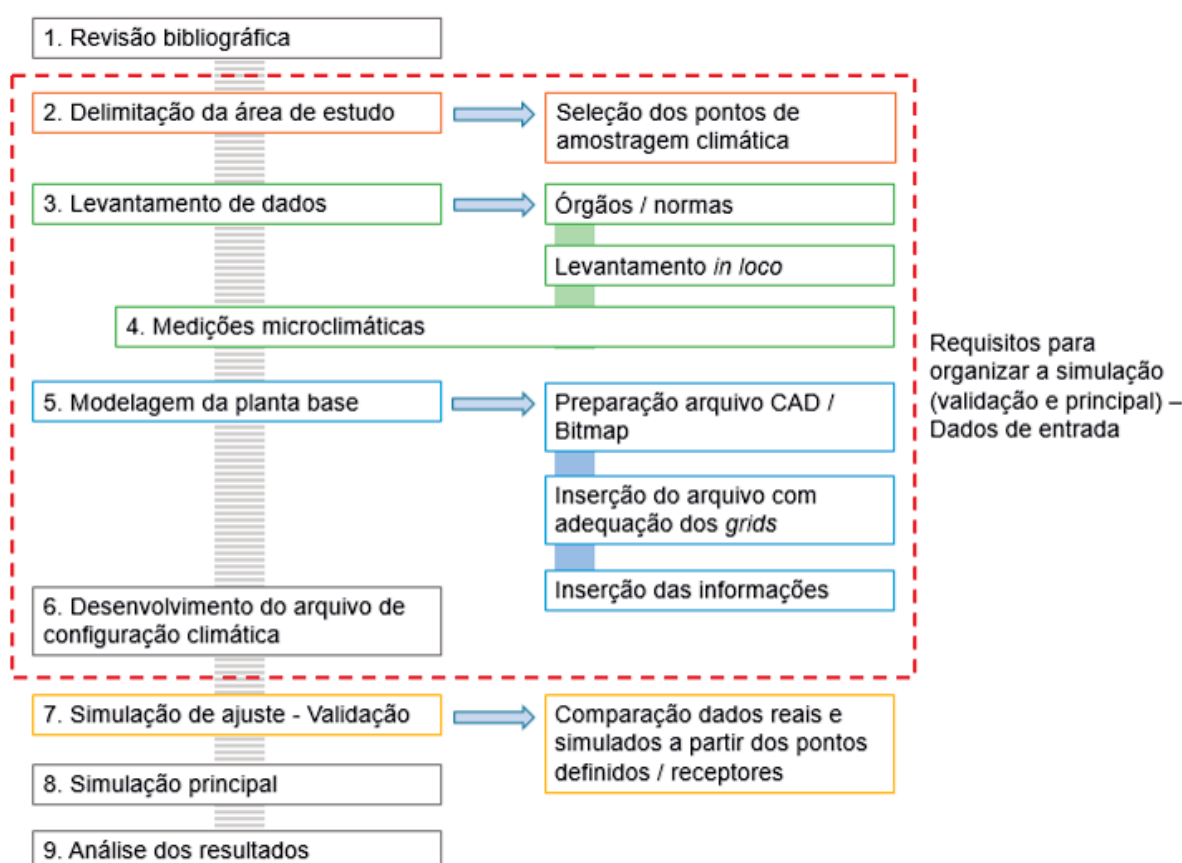
---



### 3. METODOLOGIA

Os procedimentos metodológicos propostos nesta pesquisa seguem ilustrados na Figura 4.

Figura 4 – Fluxograma dos procedimentos metodológicos



Fonte: A autora.

A etapa de **revisão bibliográfica** constitui-se no levantamento de material publicado acerca dos seguintes principais temas, tais como clima urbano, conforto térmico e a influência da vegetação no microclima. Embora as atividades de conceituação tenham sido mais intensas na etapa inicial de pesquisa relacionada principalmente à fundamentação teórica, a necessidade de retroalimentação ao longo do processo fez com que fosse fundamental durante as demais etapas da pesquisa. O embasamento teórico foi necessário especialmente para a atualização dos conceitos e identificação dos métodos de levantamento e avaliação de dados adequados à realidade desta investigação, o que permitiu definir as diretrizes da pesquisa. Assim, foram estudadas metodologias de medições microclimáticas e as normas referentes ao tema, para possibilitar a coleta de dados de forma adequada.

Nesta etapa também foi estudado o programa de simulação computacional utilizado, o ENVI-met 3.1. Foram verificados trabalhos e pesquisas que utilizaram o *software* e avaliada a possibilidade de obtenção dos dados necessários para o carregamento do programa para que a simulação fosse possível. Apesar de já existir a versão V4 do programa, julgou-se a versão 3.1 mais adequada para a pesquisa devido ao tamanho da área considerada para o estudo de caso e pela disponibilidade gratuita do *software*.

Para a **delimitação da área de estudo** identificou-se, por meio de mapas e visitas *in loco*, um trecho urbano da cidade de Vitória, ES, que possui características tipológicas homogêneas para que fossem reduzidos os possíveis elementos que poderiam interferir nas medições, e com isso obter dados de maior confiabilidade. O trecho possui diferentes configurações/tipos de distribuição arbórea permitindo a comparação dos dados e também as formas mais frequentes encontradas na cidade, definindo os agrupamentos arbóreos estudados e a **seleção dos pontos de amostragem climática**.

A seleção dos pontos de amostragem climática permitiu a coleta pontual de dados de locais com diferentes características, atendendo ao interesse do estudo.

O **levantamento de dados**, assim como as etapas seguintes fazem parte dos requisitos para organizar a simulação computacional. O *software* ENVI-met 3.1 necessita que seja carregado com as características e dados bioclimáticos específicos do local. Para o levantamento dessas informações foram feitas pesquisas em sites de órgãos que disponibilizam dados climáticos via estações meteorológicas, sendo também realizado o levantamento *in loco* das edificações, vegetações e materiais da área de estudo e realizadas medições microclimáticas, sendo que esta última já se configura como a próxima etapa da pesquisa.

As **medições microclimáticas** forneceram dados para possibilitar a calibração do *software* para a situação climática de Vitória. Para as mesmas foi necessária a preparação dos equipamentos para possibilitar a medição das variáveis climáticas determinadas, no mesmo ponto e simultaneamente nos pontos previamente definidos. Nos dias determinados, as medições ocorreram durante 48 horas abrangendo o período diurno e noturno, simultaneamente nos pontos estipulados, em intervalos pré-estabelecidos.

Para a simulação foi feita a **modelagem da planta base** no AutoCAD, determinando exatamente as medidas do recorte da área e a dimensão satisfatória para os *grids* (células da malha ortogonal do ENVI-met 3.1). Em sequência converteu-se o arquivo para Bitmap, extensão de arquivo aceita para carregamento no programa. Após inserida a imagem no *software*, a mesma foi sobreposta, ponto a ponto, com as informações de edificações, vegetações e materiais, coletadas anteriormente, produzindo o arquivo *Area Input File* (.in).

No **desenvolvimento do arquivo de configuração climática**, etapa seguinte da preparação para a simulação, foi produzido um arquivo de extensão .cf, que é o arquivo de configuração *Main Configuration File*, com os dados climáticos do local, reunidos nas etapas de levantamento de dados, além da especificação dos horários desejados para a simulação.

A **simulação de ajuste** se faz necessária para a **calibração** dos resultados encontrados nas simulações. Nesta etapa foram contrapostos os dados obtidos nas medições e nas simulações dos mesmos dias, com o intuito de se fazer ajustes no programa para que as simulações apresentassem dados os mais compatíveis possível com a realidade climática da área de estudo. Os pontos de amostragem climática das medições foram inseridos nas simulações como receptores, possibilitando a comparação nas duas técnicas a partir dos mesmos locais.

Na **simulação principal** definiu-se os parâmetros que se desejava extrair, observando-se que o objetivo principal foi avaliar a variação da temperatura e da umidade. Definiu-se como o mais adequado para a avaliação pretendida, utilizar as estações do ano inverno e verão, de modo a possibilitar a verificação das particularidades sazonais do comportamento da interferência da vegetação nas variáveis climáticas. Para esta etapa foram necessários os dados provenientes dos arquivos desenvolvidos na modelagem da planta base e de configuração climática, já atualizados pela calibração. Após a simulação, os mapas foram gerados pelo *plugin* do ENVI-met 3.1, denominado como “Leonardo”.

De modo a favorecer a **análise dos resultados**, além dos mapas gerados pelo Leonardo, as informações obtidas foram colocadas em planilhas e organizadas em gráficos, permitindo a comparação dos dados microclimáticos. A avaliação dos dados foi feita de acordo com os tipos diferentes de distribuição/configuração de arborização,

comparando sua conformação em horários distintos e nas épocas do ano determinadas.

### 3.1. Software ENVI-met 3.1

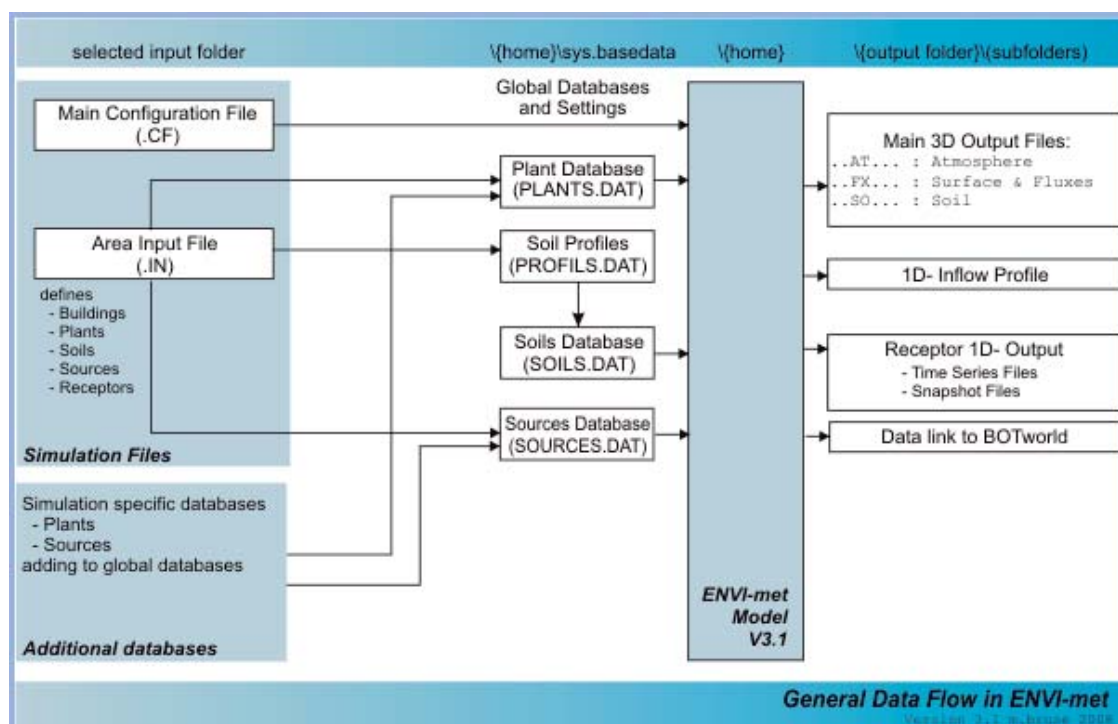
As pesquisas computacionais, segundo Francisco (2012), permitem além de avaliar a situação real, testar possibilidades para uma situação futura, podendo se constituir como uma importante ferramenta para o processo de planejamento e intervenções urbanas.

Conforme mencionado anteriormente, o programa de simulação computacional escolhido para o desenvolvimento desta pesquisa foi o *software* ENVI-met 3.1 (BRUSE, 2015), desenvolvido na Alemanha por Michael Bruse e equipe do Instituto de Geografia da Universidade de Mainz. O programa permite fazer modelagem tridimensional do clima urbano de uma área pré-definida a partir de processos físicos entre os edifícios, o solo, a vegetação e a atmosfera, possibilitando um estudo detalhado das variações microclimáticas (JOHANSSON, 2006). O programa foi escolhido porque, além de ser gratuito, também possibilita a análise microclimática de contextos urbanos, sendo utilizado em trabalhos semelhantes, como por exemplo nas pesquisas de Shinzato (2009; 2014), Nogueira (2011), Francisco (2012) e Gusson (2014). Optou-se por escolher a versão 3.1 do programa por a versão 4.0 gratuita permitir apenas a simulação de pequenas áreas, não contemplando o tamanho da área de estudo escolhida.

O ENVI-met 3.1 avalia, em uma abordagem de micro-escala, a relação entre o desenho urbano e o microclima. Bruse (1998) desenvolveu esse modelo numérico para efetuar o cálculo dos elementos essenciais relacionados à vegetação, tais como a transpiração, a evaporação e a resistência dos estômatos, com o objetivo de verificar os benefícios advindos da presença da vegetação no meio urbano (Figura 5).



Figura 5 – Estrutura detalhada do ENVI-met



Fonte: ENVI-met 3.1 Manual. Disponível em <http://envi-met.com/>. Acesso em julho de 2017.

Em síntese, o ENVI-met 3.1 consiste em um modelo complexo que busca, através das condições climáticas e arquitetônicas específicas, verificar o comportamento de ambientes internos e externos.

O cálculo feito para a camada do solo corresponde ao perfil vertical de temperatura e umidade a partir da superfície, e aborda os processos hidrológicos e termodinâmicos de cada tipo de solo ou material de revestimento do piso, conforme suas propriedades. Para a vegetação leva-se em consideração sua interação física e biológica com o ambiente, considerando suas trocas térmicas e de vapor d'água (ASSIS; SIRQUEIRA; BAMBERG, 2013).

Para utilização do *software* ENVI-met 3.1, é necessário colocar várias informações da localidade na qual se encontra a área que será feita a simulação. De acordo com Nogueira (2011), a preparação dos dados de entrada deve ser uma etapa tratada com bastante cuidado, buscando dados os mais fidedignos possíveis, já que determinará os parâmetros utilizados pelo programa visando obter resultados bem-sucedidos e confiáveis.



Para a simulação neste *software* é necessário preparar dois arquivos: o *Area Input File* (.in) e o *Main Configuration File* (.cf). Para facilitar a compreensão do funcionamento do programa optou-se por dividir o processo de simulação em quatro etapas:

**1º Etapa:** elaboração do arquivo *Area Input File* (.in);

**2º Etapa:** elaboração do arquivo *Main Configuration File* (.cf);

**3º Etapa:** simulação;

**4º Etapa:** extração dos dados.

Na **primeira etapa** deve ser preparado o arquivo .in, no qual são adicionadas as informações espaciais, como dimensões, revestimentos, edificações e vegetações, em uma representação planificada da área. Para isso a área definida pode ser representada no programa CAD e o arquivo posteriormente convertido em extensão Bitmap para inserção no ENVI-met 3.1, sendo que esse procedimento facilita a inserção das informações no programa. Essa imagem servirá apenas como base para sobreposição dos dados, não ficando salva no arquivo, necessitando ser carregada sempre que necessário. O *software* ENVI-met 3.1 trabalha com uma malha quadriculada (*grids*) de tamanho definido pelo usuário, podendo variar de 0,5 a 5m (JOHANSSON, 2006). É importante definir, nesta etapa, o tamanho dos *grids* e a quantidade dos mesmos. Não é recomendado que o tamanho dos *grids* seja muito grande, pois isso pode dificultar a inserção das informações do local.

Quando o programa não possuir a cidade já previamente cadastrada, que é o caso da área de estudo, deve-se inserir as informações de posição geográfica da mesma. Também devem ser acrescentados dados geográficos, como a orientação (Norte), referente à área de estudo (JOHANSSON, 2006), fornecendo a base necessária para seu adequado funcionamento.

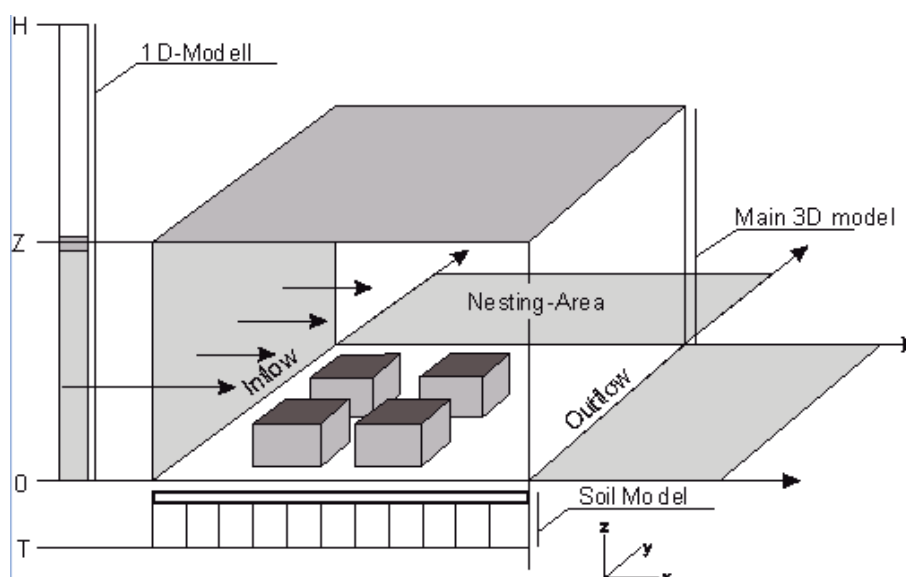
Sobre a imagem da área inserida, adicionam-se as informações, ponto a ponto, das edificações, revestimentos, solo e vegetações, já identificando a altura das edificações e das vegetações, além da espécie, copa e densidade da copa, a partir do banco de dados disponibilizado pelo programa. As edificações são representadas de modo simplificado, considerando os mesmos materiais e albedos para todos (FRANCISCO,

2012). Dessa forma, deve-se fazer um inventário simplificado visando identificar os elementos dominantes dos sistemas construtivos.

Também é possível colocar receptores na área, ou seja, pontos nos quais o programa irá gerar dados específicos. Assim sendo, além dos dados gerais da área, o programa irá gerar dados de resposta pontuais para cada receptor inserido no local.

Para ajustar os dados gerados, o ENVI-met 3.1 solicita que seja colocada a dimensão de uma área de borda ou área de aninhamento – os denominados *nesting grids* –, com a função de impedir que ocorram problemas nos cálculos da borda. Essa é uma área composta por células bidimensionais (x, y) além da área previamente modelada visando produzir uma área de transição ao redor do modelo para os fluxos de vento e radiação (Figura 6).

Figura 6 – Layout básico do modelo ENVI-met



Fonte: ENVI-met 3.1 Manual. Disponível em <http://envi-met.com/>. Acesso em julho de 2017.

Observa-se que o ENVI-met 3.1 considera um modelo tridimensional com uma área bidimensional ao seu redor (*nesting grids*), trabalhando com um perfil vertical de mesoescala a uma altura de até 2500m acima do nível do mar (ASSIS; SIRQUEIRA; BAMBERG, 2013).

No arquivo .cf, **segunda etapa** do processo de simulação, são adicionados os dados meteorológicos e as informações referentes ao período que se deseja simular

(JOHANSSON, 2006). São inseridos dados do dia da simulação, quantas horas se deseja simular, os intervalos dos dados a serem gerados, a temperatura no período inicial de simulação, a velocidade e direção do vento, entre outros.

Neste arquivo também podem ser adicionados os receptores, que neste caso, são determinados pelas suas coordenadas, conforme foram adicionados no arquivo .in. Neste momento deve ser inserido o intervalo de tempo em que se deseja extrair dados dos receptores, que pode ou não ser o mesmo intervalo dos dados gerais.

Os dois arquivos criados devem ser salvos na pasta *input* no local onde o ENVI-met 3.1 ficou salvo no computador. Ao simular, os arquivos gerados serão salvos na pasta *output* de acordo com suas características (*atmosphere, receptores, soil, ...*) no mesmo local.

A **terceira etapa** consiste na simulação. Deve-se acessar o *ENVI-met V3.1 Default Config*, onde são carregados os dois arquivos gerados, que devem ser testados para que seja avaliado se o modelo não apresenta erros, e escolhidos os dados de saída que se deseja extrair, para posteriormente realizar a simulação.

O ENVI-met 3.1 permite a obtenção de diversos parâmetros ambientais, entre eles velocidade do vento, direção do vento, perturbação de pressão, temperatura potencial, umidade específica, radiação difusa, temperatura de fluxo, dissipação e PMV (voto médio predito).

Para se iniciar a simulação foi necessário escolher o formato em que a simulação será processada de acordo com as dimensões da área escolhida, posto que o ENVI-met 3.1 apresenta três opções de grades de resolução dos *grids*: 100x100x30, 180x180x30 e 250x250x30, sendo largura x comprimento x altura e já considerando a dimensão dos *nesting grids*. A definição do tamanho da resolução e da área de referência devem ser definidos considerando a provável zona de influência da vegetação e, de acordo com Shinzato (2009), deve se ter cuidado com áreas muito extensas, pois pode significar uma demanda maior de tempo para a simulação. Segundo Francisco (2012), simulações complexas podem durar até uma semana.

Os dados gerados podem ser extraídos de diferentes formas para que sejam feitas as análises, sendo esta a **quarta etapa**. Ao gerar dados de receptores é possível exportar o arquivo para planilhas de cálculo obtendo dados de cada ponto estabelecido,

colhendo informações de todas as variáveis climáticas determinadas de acordo com os intervalos solicitados. O ENVI-met 3.1 também possui um *plugin* chamado Leonardo, como ferramenta adicional, para produção de mapas a partir das simulações geradas. O mapa qualifica a área de acordo com a variável e o horário escolhidos.

O ENVI-met 3.1 possui limitações pois não considera a massa térmica presente nas fachadas dos edifícios, considera a mesma temperatura para todas as edificações e mantém constante a temperatura interna das edificações e, também, por trabalhar com uma malha ortogonal, não considera curvas e inclinações, sendo necessário fazer algumas adaptações ao inserir as informações referentes ao formato e ao revestimento presentes no local (JOHANSSON, 2006).

### **3.2. Medições Microclimáticas**

As medições microclimáticas foram realizadas seguindo a recomendação da ISO 7726 (1998), que trata das normas para instrumentos de medição, porém, embora a mesma se refira à ambientes internos, em função da inexistência de uma norma específica para áreas externas, também é utilizada para pesquisas no ambiente urbano. Sendo assim, os equipamentos devem ser posicionados a 110cm do solo (altura do abdômen).

Oke (2006), no seu guia de recomendação para obtenção de dados representativos em observações meteorológicas, recomenda que as medições sejam feitas em períodos sem sinais de microclimas atípicos para que realmente se obtenha dados representativos do clima local. Além disso, é pertinente a padronização dos pontos com altura padrão de medição, mesma cobertura de superfície e pouca obstrução do horizonte.

Cada miniestação (Figura 7) é composta de 1 Data Logger, modelo ONSET HOBO (Temp/RH/ 2 extchannels). As miniestações foram montadas sobre tripés e com abrigos confeccionados com pratos de poliestireno expandido com o intuito de manter os equipamentos protegidos da radiação solar direta e indireta, evitando interferências nos dados medidos, conforme orientações de Oke (2006), no qual afirma que os

sensores para medição de temperatura do ar e umidade devem ser cuidadosamente protegidos da radiação e ventilação.

Figura 7 – À esquerda, miniestação e à direita, Data Logger, utilizados nas medições microclimáticas



Fonte: A autora (2016).

As variáveis climáticas escolhidas para aferição foram temperatura do ar e umidade relativa, tendo em vista a comparação com os receptores da simulação e relação com o microclima urbano.

As medições foram realizadas no inverno, em um período de 48h, iniciando às 17h do dia 13 até às 17h do dia 15 de setembro de 2016, permitindo uma margem para comparação com os receptores da simulação.

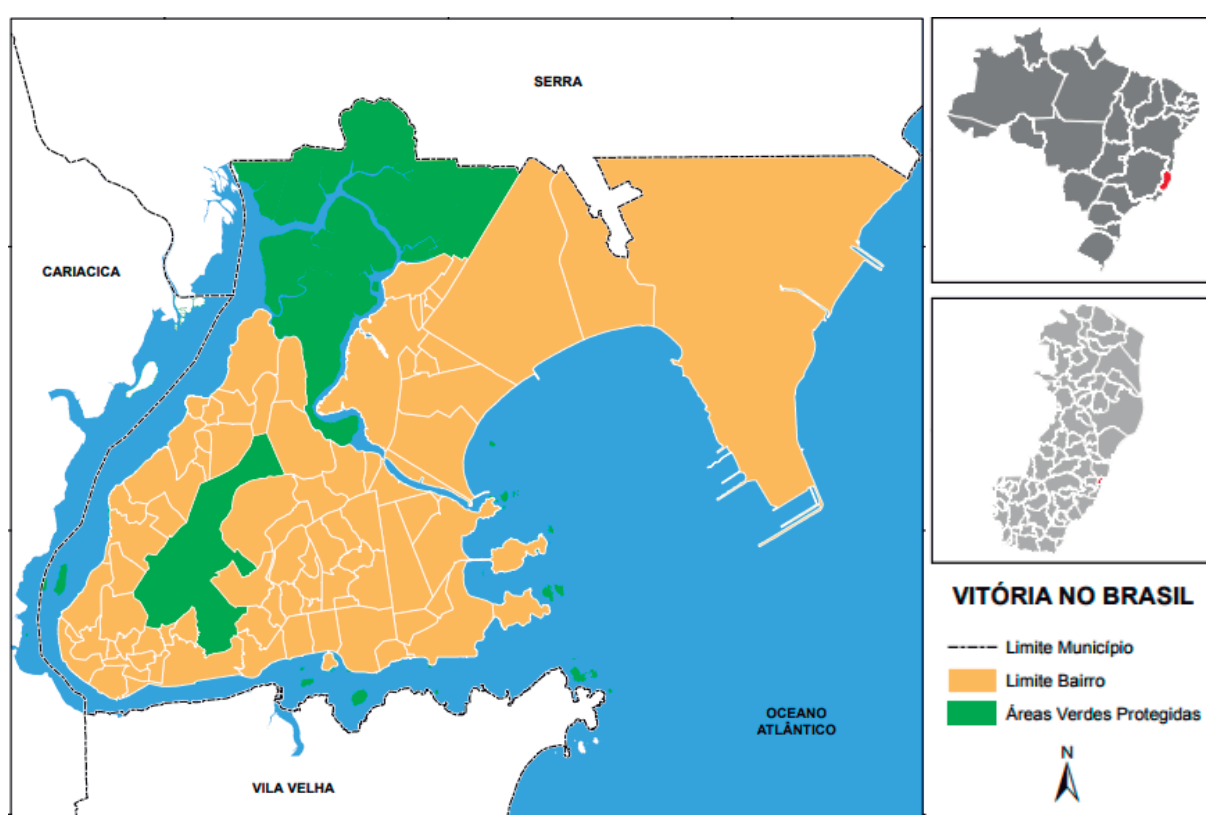
Os dados de temperatura e umidade foram coletados durante todo o período especificado, de forma simultânea nos pontos previamente definidos, sendo registrados os valores de máxima, média e mínima dos dados microclimáticos de cada ponto de amostragem, em intervalo de 1 em 1 minuto, de acordo com a programação feita nos Data Loggers. Os dados obtidos foram posteriormente transferidos para um arquivo específico e utilizados no processo de calibração.

As condições sinóticas do período de medição se apresentaram favoráveis à coleta de dados, com dias com céu claro e situações representativas da situação climática de Vitória, ES.

### 3.3. Definição e Caracterização da Área de Estudo

Para aplicação do sistema metodológico desta pesquisa definiu-se trabalhar com uma parcela territorial representativa da cidade de Vitória, capital do Espírito Santo (Figura 8). Vitória é uma cidade litorânea, situada na LAT 20°19'15"S e LONG 40°20'10"W (PMV, 2017) e, de acordo com o mapa de escala climática de Köppen-Geiger, está classificada como clima tropical úmido, no grupo climático A, ou seja, quente e úmido, com temperaturas máximas igual ou acima de 22°C (KOTTEK et al., 2006).

Figura 8 – Mapa de localização do município de Vitória no Brasil



Fonte: PMV (2017).

As regiões classificadas com clima tropical quente e úmido apresentam duas estações durante o ano, verão e inverno, registrando, entre elas, pequena variação de temperatura. As precipitações não possuem um período definido, acontecendo predominantemente no verão. Apresenta valores elevados de umidade relativa (ROMERO, 2001).

De acordo com a análise dos dados das Normais Climatológicas obtidos pelo site do INMET (2017), as temperaturas médias de Vitória para o período de 1961 a 1990 variam de 21,6 a 26,7°C, com temperatura mínima de 18,8°C na avaliação dos meses



de julho e, atingindo temperatura máxima de 31,6°C nos meses de fevereiro. Já a umidade relativa mantém valores altos durante todo o ano, não possuindo grandes variações entre as estações, conforme o Quadro 2.

Quadro 2 – Normais Climatológicas (1961-1990)

Mês	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Média (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Umidade Relativa (%)
Janeiro	30,9	26,2	23,1	76
Fevereiro	31,6	26,7	23,7	75
Março	31,1	26,5	23,4	76
Abril	29,4	25,1	22,3	76
Maio	27,9	23,3	20,8	76
Junho	26,7	22,3	19,5	77
Julho	25,9	21,6	18,8	77
Agosto	26,5	22,8	19,8	77
Setembro	26,5	22,8	19,8	77
Outubro	27,3	23,5	20,8	78
Novembro	28,2	24,4	21,6	78
Dezembro	29,6	25,5	22,4	78

Fonte: INMET (2017).

A delimitação da área de estudo teve como ponto norteador para sua escolha a presença de áreas arborizadas de duas principais formas: vegetação concentrada e arborização ao longo das vias. Além disso, deveria possuir uma homogeneidade da tipologia urbana para que a mesma não comprometesse a análise dos resultados. Com essas premissas, foi feita uma busca através de imagens aéreas e visitas *in loco* no município de Vitória para essa definição.

Foi escolhida uma área com aproximadamente 450.000m<sup>2</sup>, configurando um retângulo de cerca de 900x500m, abrangendo parte dos bairros Mata da Praia e bairro República, além de uma pequena parcela do Aeroporto, na cidade de Vitória, ES (Figura 9). A área se caracteriza por ser uma zona residencial com comércio local, e por tipologias construtivas em sua maioria residenciais de dois pavimentos com alguns edifícios de quatro pavimentos.

Figura 9 – Delimitação da área de estudo



Fonte: Modificado a partir do Google Earth (2017).

A área engloba quatro praças (Praça Jacob Suaid, Praça Márcio M. de A. Sarmiento, Praça Benedito Rodrigues da Cruz e Praça Aristóbulo Inocêncio Ferreira) e o Parque Municipal Mata da Praia, sendo que três deles possuem massa adensada de vegetação. Muitas ruas na área são sem saída para veículos, apresentando *cul de sac* e alamedas, também com presença de arborização, sendo o fluxo de veículos majoritariamente local.

A partir da definição da área de estudo, foram selecionados dois pontos de amostragem climática para a calibração, conforme apresentado na Figura 10. As localizações dos pontos para as miniestações foram selecionadas de modo a caracterizar o local, conforme recomendação de Oke (2006), e situados no meio de quadras visando dispor de menos influência de ventos canalizados por vias próximas. Além disso, foi levada em consideração a segurança dos locais para que fosse possível a medição contínua durante as 48 horas pretendidas, sem representar risco para as pessoas e equipamentos.



Figura 10 – Área de estudo



Fonte: Modificado a partir do Google Earth (2017).

Para o levantamento das características gerais da área para inserção no arquivo .in contou-se com o auxílio da Prefeitura Municipal de Vitória (PMV) que disponibilizou a base gráfica da área. Além disso, foi feita a conferência e complementação das informações *in loco*.

A partir da base gráfica da área de estudo e levantamento das visitas *in loco*, foi possível obter o traçado de todas as edificações juntamente com suas alturas e dimensões, revestimentos e, também, a densidade das copas e dimensões das árvores existentes. A fim de facilitar a leitura das informações obtidas e auxiliar na inserção dos dados no arquivo .in do ENVI-met 3.1, foi construída uma base gráfica identificando essas características físicas, conforme Figura 11.



Figura 11 – Base gráfica com as informações físicas da área de estudo



Fonte: Elaborado a partir de base gráfica disponibilizada pela Prefeitura Municipal de Vitória pela autora (2017).

A confecção da base gráfica auxiliou na compreensão da morfologia urbana do recorte territorial, deixando em evidência a altura predominante das edificações e a proporção de arborização existente na área.

# 4 Simulações Computacionais

---



## 4. SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS

As simulações computacionais dividem-se em duas etapas, conforme anteriormente especificado, sendo a primeira de calibragem e a segunda, das simulações propriamente ditas, sendo a seguir explicitadas.

### 4.1. Simulações de Calibração

A simulação de calibração é necessária para adequar o arquivo de configuração de dados climáticos à situação climática local e, comparando as simulações computacionais a partir dos receptores, com os dados obtidos nas medições microclimáticas, verificando a correlação entre eles de modo a fazer os ajustes cabíveis, com o intuito de se obter resultados mais próximos do real. De acordo com Assis, Sirqueira e Bamberg (2013), a calibração, conforme as condições locais, deve ser a etapa inicial.

Apesar da utilização do programa para simulação em diversos climas e com resultados satisfatórios, a calibração do modelo é fundamental para a assimilação das particularidades climáticas do local e seu contexto urbano, visando alcançar resultados mais confiáveis (DUARTE, 2015).

O processo de calibração consiste no desenvolvimento habitual dos procedimentos de simulação, sendo que, com a comparação dos dados obtidos, verifica-se a necessidade de ajuste em alguns dados de entrada até que se obtenha dados com valores mais próximos aos reais.

O primeiro passo para a preparação da simulação no ENVI-met 3.1 foi organizar o modelo da área, ou seja, o arquivo .in. A área total delimitada para o estudo possui 900m x 500m, sendo definida uma malha de 5m x 5m, gerando uma tabulação de 180 x 100 *grids*. A altura dos *grids* ficou como 20, tendo em vista que esse valor deve abarcar, no mínimo, o dobro da altura do maior edifício existente no local, finalizando a malha como 180 x 100 x 20 *grids*. Com as informações levantadas em visitas *in loco* e com o auxílio da base gráfica fornecida pela Prefeitura Municipal de Vitória, acerca dos revestimentos, edificações e vegetações, foram preenchidos todos os *grids*, ponto a ponto (Figura 12).



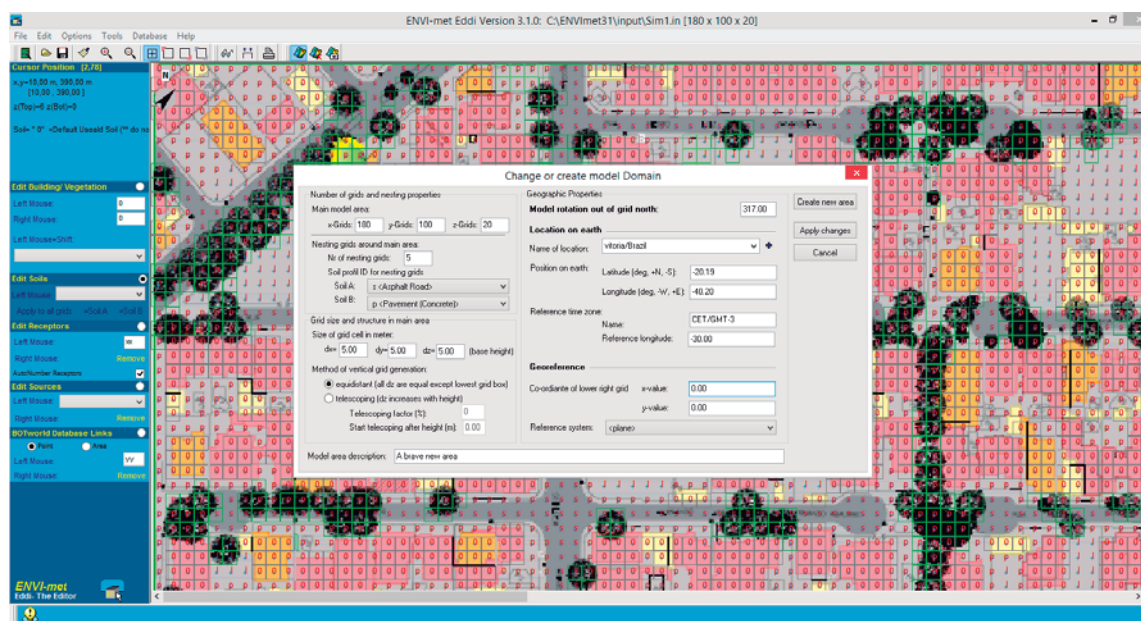
Figura 12 – Imagem da inserção dos dados no arquivo .in do programa ENVI-met 3.1



Fonte: Elaborado no software ENVI-met 3.1 pela autora.

Cada *grid* foi preenchido com o elemento que o constitui, e no caso das edificações, é especificada a altura que as mesmas alcançam. Para a determinação das vegetações houve o cuidado de escolher as que possuísem características similares com as existentes na área. Para a área de aninhamento (*nesting grids*) adotou-se 5 *grids* de cada lado da área modelada, especificando asfalto e concreto como materiais de superfície predominantes do entorno (Figura 13).

Figura 13 – Inserção de dados no domínio do modelo



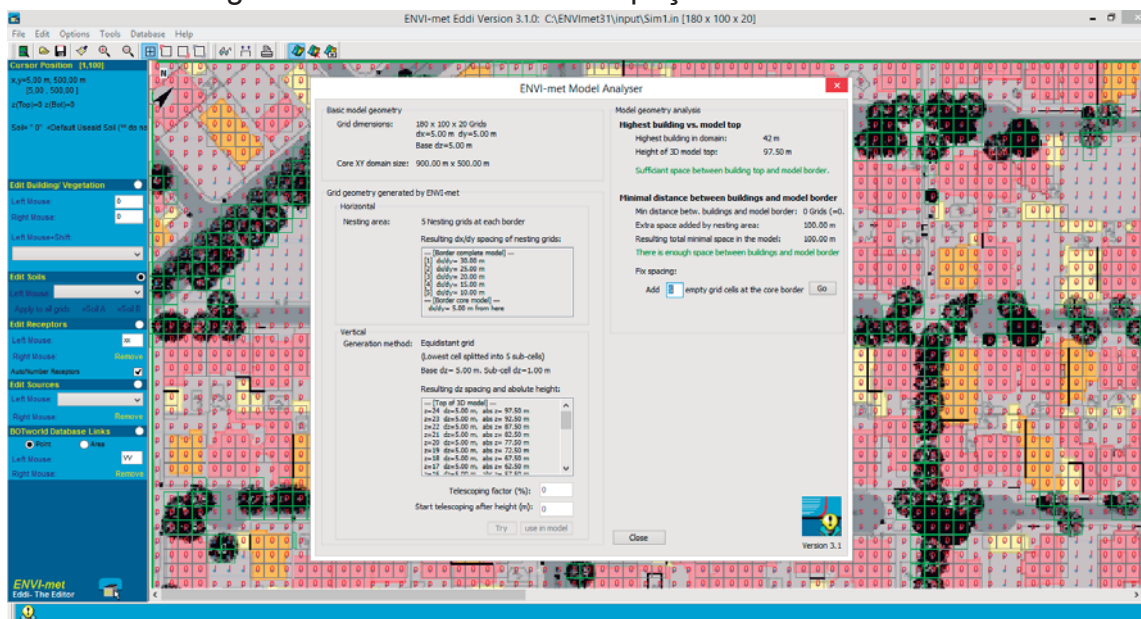
Fonte: Elaborado no software ENVI-met 3.1 pela autora.

Ainda foram acrescentadas as informações da localização, contudo como o programa não possui informações da cidade de Vitória, foi necessário inserir e criar uma nova localização inserindo dados como latitude e longitude, além da identificação da orientação (Norte) da área de estudo, conforme anteriormente mencionado.

Também foram inseridos dois receptores conforme os pontos utilizados nas medições microclimáticas, a fim de se obter informações específicas desses locais para possibilitar a comparação entre os valores medidos e os simulados, permitindo, assim, a calibração do programa.

Após a inserção desses dados é importante verificar se as dimensões estabelecidas no modelo estão de acordo, através da ferramenta “*model inspector*”. Essa ferramenta correlaciona os valores de altura das edificações da área com as dimensões da borda, analisando e indicando se há necessidade de ajustar esses valores. Neste caso, a ferramenta demonstrou que as dimensões eram suficientes (Figura 14).

Figura 14 – Ferramenta de inspeção do ENVI-met 3.1



Fonte: Elaborado no software ENVI-met 3.1 pela autora.

Considerando os procedimentos do programa, o próximo passo trata-se da segunda etapa, que consistiu em produzir o arquivo de configuração (.cf), no qual foram adicionados os dados meteorológicos e informações sobre o período de simulação.

As medições foram feitas no período de 17h do dia 13 de setembro às 17h do dia 15 de setembro de 2016. No entanto, para as simulações o horário foi postergado,



iniciando às 21h do dia 13 e se estendendo até às 21h do dia 14 de setembro (Quadro 3), considerando a recomendação de Francisco (2012) de que o melhor horário para início de simulação é no período noturno visando reduzir a possibilidades de ocorrência de erros de convergência em função da radiação de onda curta nas primeiras horas de simulação. Assis, Sirqueira e Bamberg (2013) também afirmam que o ideal é iniciar a simulação em um período noturno, ou seja, depois do pôr do sol ou antes do nascer do sol, visto que é necessário um cenário com atmosfera neutra, para maior estabilidade do programa.

Quadro 3 – Dados iniciais inseridos para simulação de calibração

<b>Dados de Entrada – arquivo .cf</b>	
<b>Data do início da simulação</b>	13.09.2016
<b>Horário do início da simulação</b>	21:00:00
<b>Tempo total da simulação (horas)</b>	24
<b>Registro dos dados (min)</b>	60
<b>Velocidade do vento a 10m (m/s)</b>	7.41
<b>Direção do vento (0:N..90:E..180:S..270:W..)</b>	155
<b>Comprimento de rugosidade z0</b>	0.01
<b>Temperatura potencial inicial [K]</b>	298
<b>Umidade específica a 2500m [g water/kg air]</b>	4.91
<b>Umidade relativa a 2m [%]</b>	71

Fonte: A autora.

Além disso, outro aspecto que influenciou na determinação do horário inicial da simulação foi que os dados de umidade específica são coletados apenas nos horários de 9h e 21h, horário local.

A simulação foi feita durante o período de 24 horas tendo em vista que esse intervalo já permite a comparação dos dados para se alcançar a calibração. Além disso, o programa tem dificuldade para fazer o resfriamento noturno depois do aquecimento gerado durante o dia. O ENVI-met 3.1 trabalha com entrada de dados de temperatura e umidade inicial, e durante a simulação é o programa que se encarrega de atualizar esses dados. Já o ENVI-met 4.0 evoluiu e utiliza a ferramenta *simple forcing*, que

possibilita a entrada de dados de temperatura e umidade a cada hora, atualizando sempre o programa da situação real da área, o que permite a estabilidade do programa durante períodos mais longos de simulação. Também foi avaliado o tempo de simulação utilizado em pesquisas anteriores, detectando a adoção de 24 horas de simulação na pesquisa de Gusson (2014) e 25 horas na pesquisa de Francisco (2012).

Os dados de velocidade e direção do vento foram obtidos do Banco de Dados Meteorológicos (BDM) encontrado no site do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC, 2017) e considerada a média do período de simulação.

A rugosidade requerida no programa refere-se à superfície que se encontra logo abaixo da estação de medição, que neste caso trata-se de pavimento liso de concreto, correspondendo ao valor de 0,01 (FRANCISCO, 2012; GUSSON, 2014).

O dado para temperatura potencial inicial também foi obtido a partir do site do CPTEC (2017), considerando o valor do início do período de simulação. O programa trabalha com a escala Kelvin para os valores de temperatura, portanto após a obtenção dos dados, foi necessário transformá-los de Celsius para Kelvin. Além disso, os dados obtidos nas estações são de temperatura do ar, portanto foi necessária a utilização de cálculos para transformar essa temperatura em temperatura potencial.

Para a umidade específica a 2500m em relação ao nível do mar foi utilizado o *site* da Universidade de Wyoming (2017) como base para coleta pois a mesma disponibiliza dados extraídos de aeroportos de várias localidades no mundo (FRANCISCO, 2012; GUSSON, 2014). O dado empregado consiste no valor da umidade para 0 hora UTC, ou seja, 21h no horário local, início do período determinado para simulação, na altura indicada, a partir dos dados da Estação do Aeroporto Eurico Sales (WMO83649), em Vitória, ES.

Para a umidade relativa foi considerado o valor inicial do período de simulação a partir dos dados do CEPTEC (2017).

Também foram inseridas as coordenadas dos receptores no arquivo .cf para que fossem gerados dados específicos dos pontos, conforme pontos utilizados nas medições microclimáticas e já inseridos no arquivo .in. Foi estabelecido que fossem gerados dados a cada 30 minutos (Figura 15).

Figura 15 – Dados dos receptores inseridos no arquivo .cf do ENVI-met

```
[RECEPTORS]
RECEPTOR p1 Co-ordinate      =158,21
RECEPTOR p2 Co-ordinate      =18,74
% --remove line above if your receptors are in the area input file--
Save Receptors each ? min      =30.0
```

Fonte: Modificado a partir do ENVI-met.

Para os valores de transmitância térmica (U) das paredes e dos telhados utilizou-se a NBR-15220 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005) e para os valores de albedo foi utilizada a referência de Oke (1987), de acordo com as características construtivas mais comuns na região, pois o programa aceita apenas um dado para configurar todo o modelo, tendo em vista que a representação das edificações é simplificada, sendo compostas pelos mesmos materiais (FRANCISCO, 2012).

Para inserir os dados de nebulosidade foi necessário avaliar se as nuvens do período de simulação seriam classificadas como baixas, médias ou altas. A classificação foi feita de acordo com o valor obtido para a altura da base das nuvens na primeira camada. No período inicial da simulação a altura encontrada foi 2750m (CEPTEC, 2017) e segundo Mendonça e Danni-Oliveira (2007), trata-se de nuvens médias, pois estão entre 2km e 7km de altura. O valor inserido deve estar em oitavas.

Para o ajuste da radiação solar foi utilizado o valor de 1 e posteriormente adequado conforme a ferramenta *Radiation Preview* no *Default Config* do ENVI-met 3.1. Os valores para radiação foram obtidos a partir de cálculos feitos pelo *software* RADIASOL2 desenvolvido pelo laboratório de energia solar (LABSOL) da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (disponível em [www.solar.ufrgs.br](http://www.solar.ufrgs.br)).

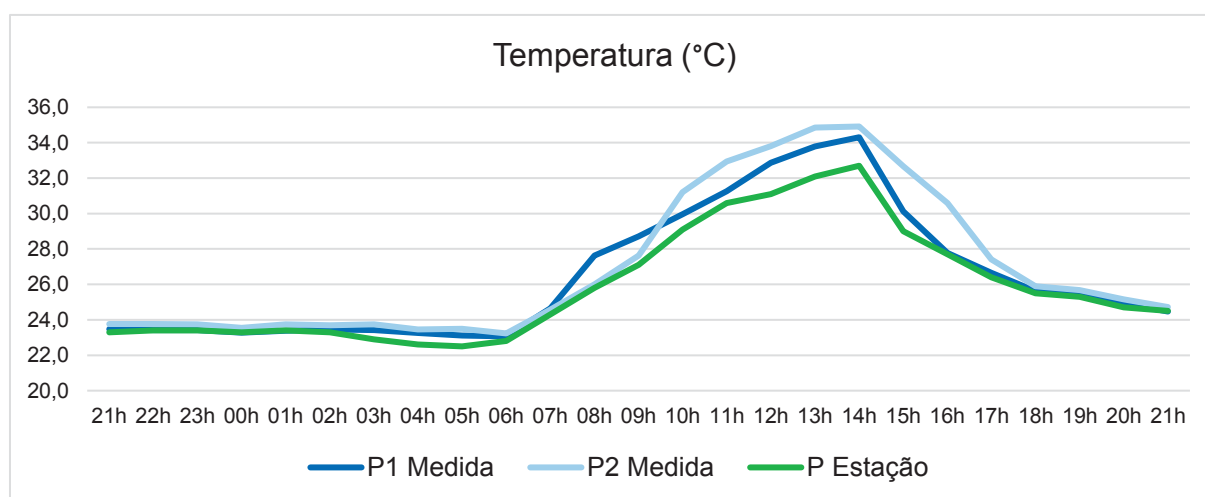
O terceiro passo consistiu na junção dos dois arquivos para que fosse feita a simulação. Foi utilizada a versão de resolução de 250 x 250 x 35 devido ao tamanho da área de estudo juntamente com a área de aninhamento. Nessa etapa é importante identificar quais as variáveis climáticas que se deseja obter dados – que neste caso foram escolhidas temperatura e umidade relativa – e testar a configuração para verificar se não existe alguma incompatibilidade na reunião dos dados inseridos.

#### 4.1.1. Avaliação dos Resultados da Simulação de Calibração

A partir dos resultados da simulação inicial foi possível fazer a comparação entre os dados gerados, referente aos pontos dos receptores, e os valores apurados nas medições microclimáticas. Foram elaborados gráficos para balizar as análises acerca dos resultados obtidos. O período analisado na calibração foi das 21h do dia 13 às 21h do dia 14 de setembro de 2016, ocasionando um período de 24 horas para avaliação.

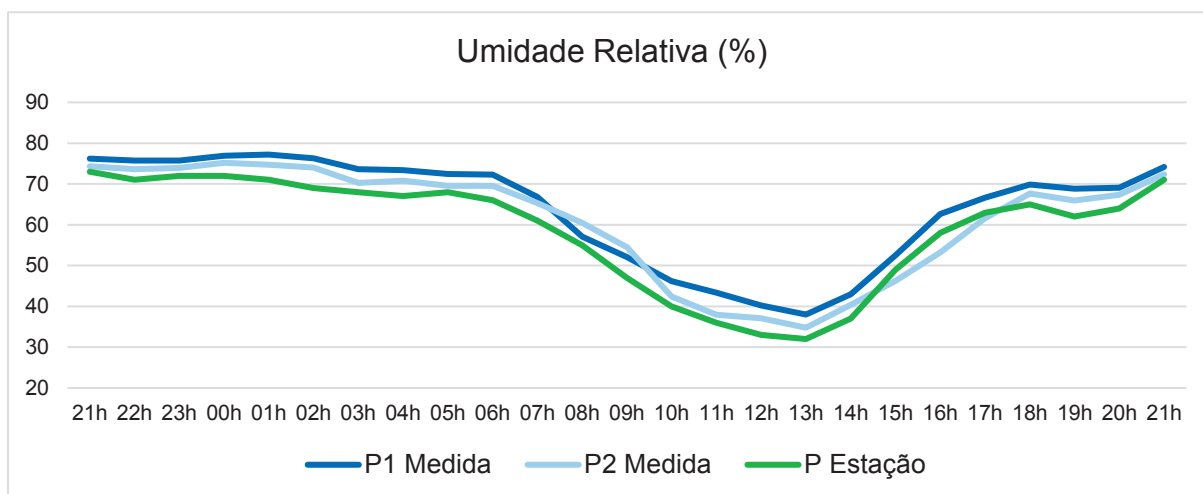
Antes da comparação com os dados simulados, para avaliar a confiabilidade dos dados medidos, foram produzidos gráficos de contraposição entre os resultados obtidos nas medições microclimáticas e os dados da estação meteorológica local, verificando que o comportamento das variáveis temperatura do ar e umidade relativa foi bem similar entre os mesmos, apresentando uma curva semelhante, validando os dados obtidos nas medições. Como a estação meteorológica não está sofrendo interferência direta do contexto urbano, a mesma apresentou dados de temperatura e umidade mais baixos do que os pontos das medições (Gráficos 1 e 2).

Gráfico 1 – Comparação de temperatura do ar entre os dados medidos e a estação meteorológica de referência



Fonte: A autora.

Gráfico 2 – Comparação de umidade relativa entre os dados medidos e a estação meteorológica de referência

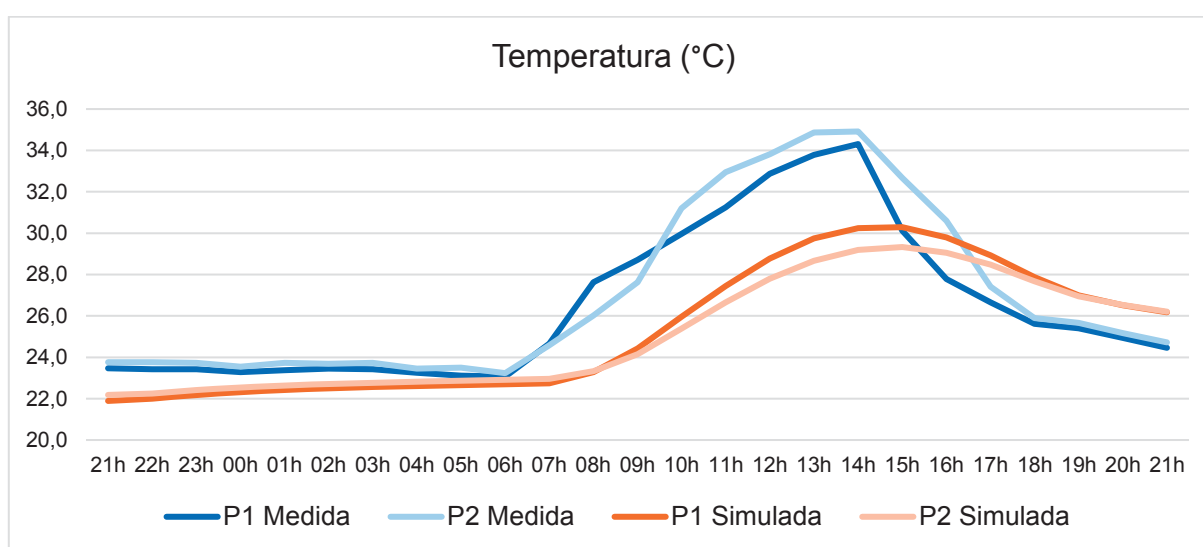


Fonte: A autora.

O ENVI-met 3.1 trabalha com temperatura potencial e as medições microclimáticas aferiram a temperatura do ar, o que gerou a necessidade de conversão dos dados para que possibilitasse a comparação.

Ao analisar os dados de temperatura medida e simulada, percebeu-se uma diferença nos valores, visto que as simuladas foram mais baixas do que as temperaturas medidas no dois pontos, conforme Gráfico 3.

Gráfico 3 – Comparação entre a temperatura medida e a simulada - pontos 1 e 2



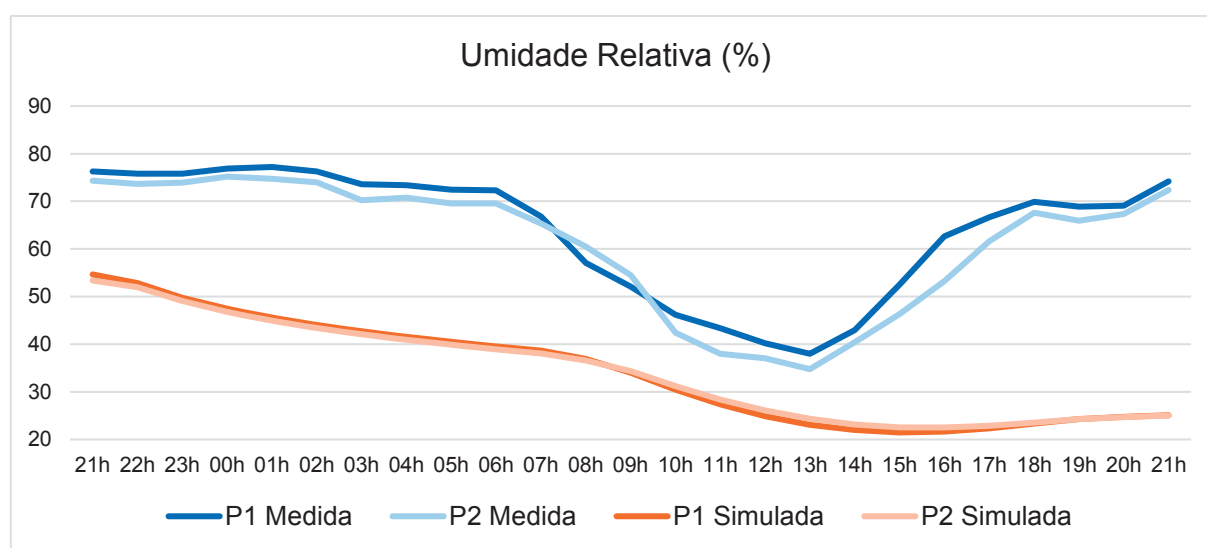
Fonte: A autora.

Foi possível verificar nessa análise, assim como nas pesquisas de Francisco (2012), que o programa ENVI-met subestima as amplitudes diárias, expressando amplitudes térmicas para os pontos analisados entre 22,1°C e 29,13°C, enquanto as medições aferiram variações de 23,06°C a 34,91°C, alcançando uma diferença de 6,78°C às 14h no ponto 2.

Gusson (2014) ressalta que algumas pesquisas brasileiras já demonstraram a limitação do modelo referente ao ajuste da curva de temperatura em relação ao clima tropical.

Em relação à variável climática umidade relativa, os valores da simulação sempre se apresentaram mais baixos do que das medições, evidenciando diferenças entre 7% e 45% (Gráfico 4).

Gráfico 4 – Comparação entre a umidade relativa medida e a simulada - pontos 1 e 2



Fonte: A autora.

A calibração do programa é necessária exatamente para suprir essa diferença que acontece devido à adequação às características climáticas locais. Shinzato (2009) e Maciel (2014) já haviam observado essa diferença nas pesquisas que desenvolveram, mas cada um optou por uma metodologia diferente de calibração do programa.

A disparidade entre os valores medidos e simulados ficou mais evidenciada ao se comparar a umidade relativa, constatando-se a necessidade de avaliar com cuidado essa variável durante o processo de calibração.

Vitória é uma cidade litorânea, possuindo a umidade alta na maior parte do dia, porém o programa não responde conforme essa característica, gerando resultados baixos para os valores de umidade relativa.

A partir desses gráficos foram feitos vários testes com o intuito de verificar de que forma o programa responde às diversas informações de entrada. Foi verificado que a alteração de alguns dados não alterava significativamente os resultados.

Segundo os estudos de Shinzato (2009), o método de calibração que obteve resposta positiva foi a alteração do valor da velocidade do vento. Francisco (2012) justificou a utilização de velocidade do vento de 1m/s visto que o programa responde com mais estabilidade desse modo. Johansson (2006) também reduziu a velocidade do vento nos seus estudos acerca da cidade de Fez, no Marrocos, a fim de obter flutuações de temperatura mais realistas, visto que o programa subestima as variações diurnas. Essa alteração é justificada devido ao programa utilizar um modelo de turbulência diferente para velocidades de vento mais baixas.

A utilização de velocidades do vento acima de 0,5m/s ocasiona valores de temperatura decorrentes, basicamente, através de trocas por convecção, intervindo demasiadamente nos resultados da simulação (GUSSON, 2014).

Vários testes foram desenvolvidos a partir da variável velocidade do vento para verificar qual valor ocasionaria melhores resultados na calibração. A partir das avaliações feitas, optou-se por verificar até que ponto a velocidade do vento incidiria nos resultados do modelo, adotando-se o valor de 0,1m/s, com intuito de restringir essa influência. Essa simulação demandou mais tempo para seu processamento do que as outras e apresentou instabilidades dos resultados que, diferente dos demais, não apresentou uma curva com trajetória regular.

No estudo feito com a velocidade do vento 0,1m/s, foi verificado que a umidade obteve valores mais altos, próximos aos valores medidos, porém os resultados de temperatura permaneceram altos após a incidência da radiação solar, não sendo realmente reduzidos no período noturno, verificando a não compatibilidade com os resultados desejados.

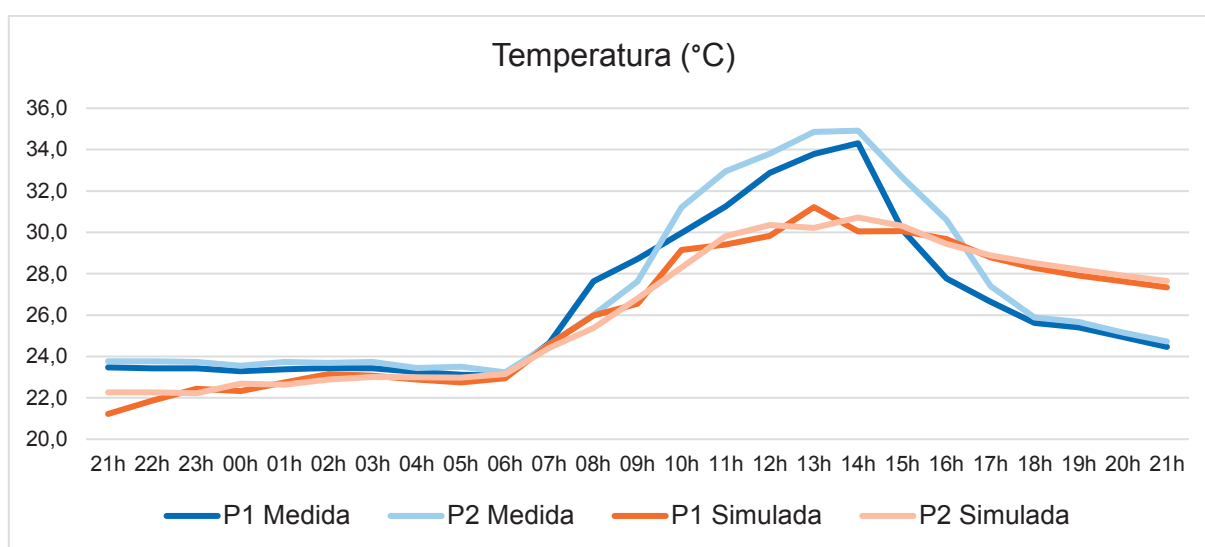
Com isso, optou-se por continuar fazendo testes alterando a velocidade inicial do vento, já que essa variável demonstrou maior possibilidade de ajuste dos resultados



e, também, testes realizados optando por fazer ajustes em outros dados, não representaram resultados mais compatíveis com as medições.

Aplicando a alteração da velocidade do vento para 0,5m/s neste estudo de calibração, foram obtidos valores mais compatíveis com as medições realizadas (Gráfico 5), indicando esse como sendo o melhor ajuste de calibração para a situação climática da área de estudo.

Gráfico 5 – Comparação entre a temperatura medida e a simulada nos pontos 1 e 2, adotando a velocidade do vento de 0,5m/s



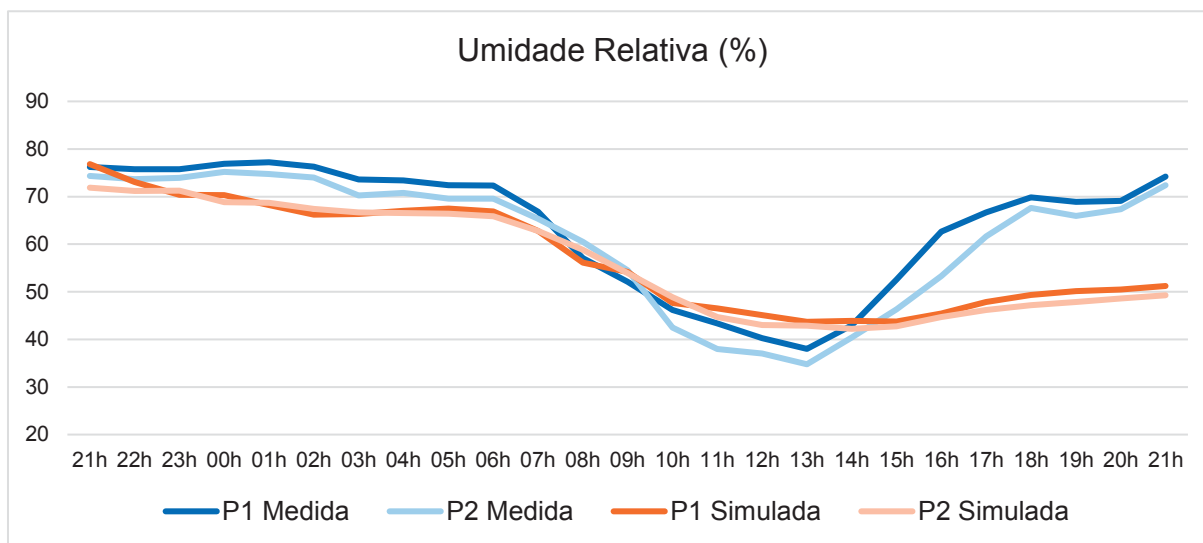
Fonte: A autora.

Durante a noite/madrugada, as temperaturas na simulação e na medição foram similares. As maiores diferenças encontradas são às 14h no ponto 1 e às 13h no ponto 2, chegando a 4,26°C e 4,64°C respectivamente.

Nesse teste, os valores das variáveis também ficaram abaixo em relação aos valores aferidos na medição nos horários de maior amplitude, confirmando o comportamento de subestimação do programa em relação aos horários mais quentes nos climas tropicais.

Os valores de umidade aumentaram consideravelmente na alteração da velocidade do vento para 0,5m/s (Gráfico 6). Com essa mudança, os valores de umidade relativa obtidos na simulação se aproximaram mais dos dados medidos, reduzindo assim, a diferença entre o medido e o simulado.

Gráfico 6 – Comparação entre a umidade relativa medida e a simulada nos pontos 1 e 2, adotando velocidade do vento de 0,5m/s

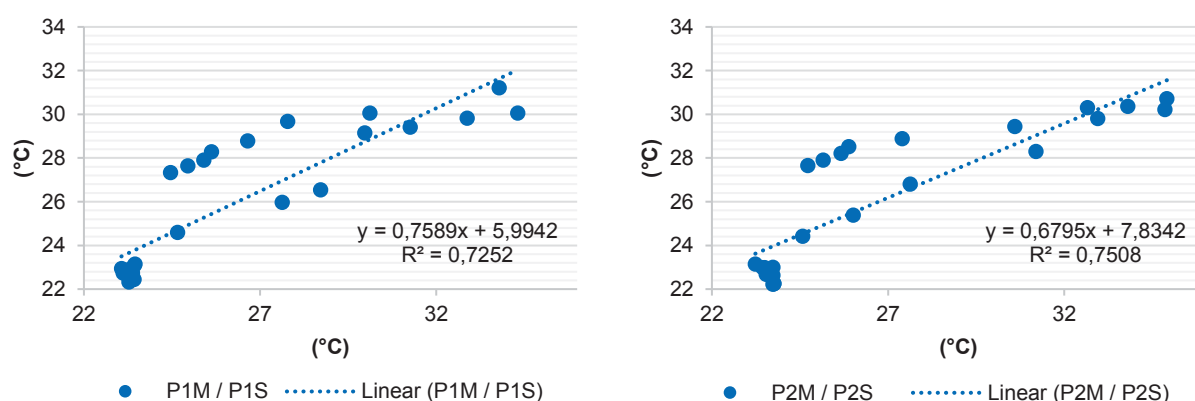


Fonte: A autora.

No intervalo de 21h às 15h, as diferenças encontradas entre os valores medidos e simulados da variável umidade ficam entre 0,57 a 10,09%, em relação aos dois pontos analisados.

Para avaliar a associação entre os dados medidos e simulados das variáveis temperatura e umidade relativa, entre os dois pontos, utilizou-se gráficos de dispersão e o coeficiente de correlação (Gráficos 7 e 8).

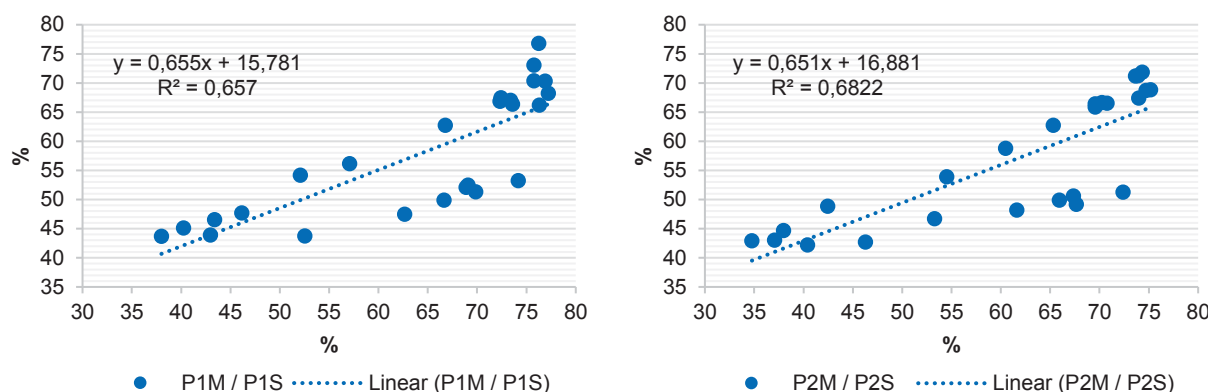
Gráfico 7 – Diagrama de dispersão e coeficiente de correlação de Pearson, referente à variável temperatura dos pontos 1 e 2



R²: coeficiente de correlação. O R² varia entre -1 e 1. Quanto mais próximo de -1 ou 1, maior é a correlação entre as variáveis.

Fonte: A autora.

Gráfico 8 – Diagrama de dispersão e coeficiente de correlação de Pearson, referente à variável umidade relativa dos pontos 1 e 2



$R^2$ : coeficiente de correlação. O  $R^2$  varia entre -1 e 1. Quanto mais próximo de -1 ou 1, maior é a correlação entre as variáveis.

Fonte: A autora.

Foi encontrada uma associação satisfatória na relação das variáveis com os dados medidos e simulados, demonstrando que a calibração aproximou os valores desses dois processos, tornando os resultados da simulação mais próximos da representação da realidade climática de Vitória.

Conforme foi citado, o ENVI-met 3.1, por não possuir a ferramenta *simple forcing*, acaba gerando dificuldade em responder ao resfriamento noturno. É possível verificar essa diferença nos gráficos, tanto de temperatura quanto de umidade.

De acordo com Emmanuel, Rosenlund e Johansson (2007), devido às limitações do programa e aos dados de entrada inseridos não terem sido aferidos no local – parâmetros coletados a partir de estações meteorológicas –, o programa subestima a temperatura máxima, com isso, a diferença entre os valores medidos e simulados é ampliada nos horários do dia em que são registrados os maiores valores.

No processo de calibração, as temperaturas atingidas na simulação foram um pouco mais altas do que da simulação inicial, na maioria dos horários, mas acompanhando relativamente os valores medidos, ou seja, apresentando o mesmo comportamento. Considerou-se os valores obtidos como uma diferença aceitável, demonstrando confiabilidade do programa para as simulações principais.

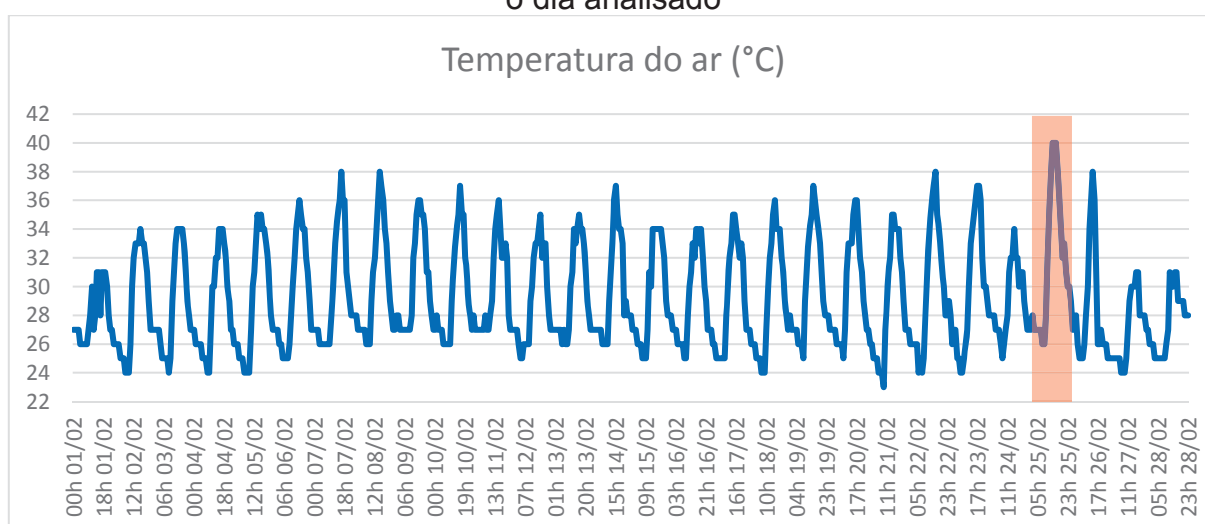
## 4.2. Simulações Principais

Após o ajuste entre os dados medidos e simulados, partiu-se para as simulações computacionais desejadas, a fim de avaliar a influência da presença de vegetação na área de estudo. Para isso, conforme anteriormente mencionado, decidiu-se trabalhar com as estações de inverno e verão para verificar o comportamento da presença da vegetação nessas duas estações distintas, tendo em vista as características do clima de Vitória. Foram então adotados os dados do dia mais quente e do dia mais frio registrado nos últimos 56 anos em Vitória, visando avaliar a influência da vegetação nas condições extremas de temperatura na cidade.

A análise foi feita para os dias 25 de fevereiro de 2006, que alcançou 39,6°C, na estação de verão e 07 de agosto de 2017, que registrou 13,8°C, na estação de inverno, de acordo com os dados coletados a partir do INMET (2017).

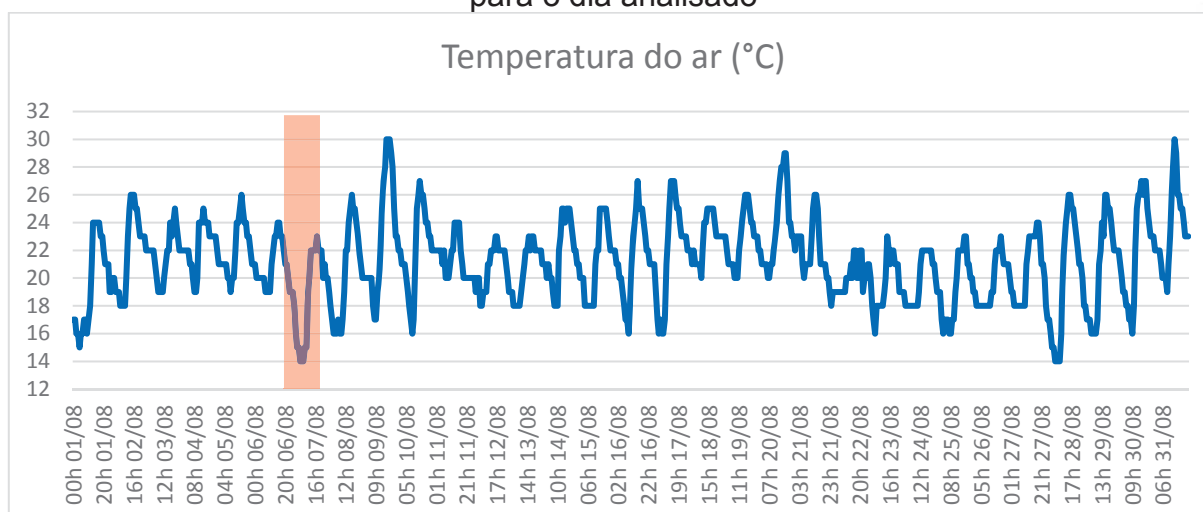
Em uma avaliação geral do comportamento da temperatura do ar nos meses que enquadram esses dois dias extremos foi possível perceber que eles não destoam do comportamento comum do período, porém indicam valores mais acentuados (Gráficos 9 e 10).

Gráfico 9 – Temperatura do ar no mês de fevereiro de 2006 (verão) – destaque para o dia analisado



Fonte: A autora.

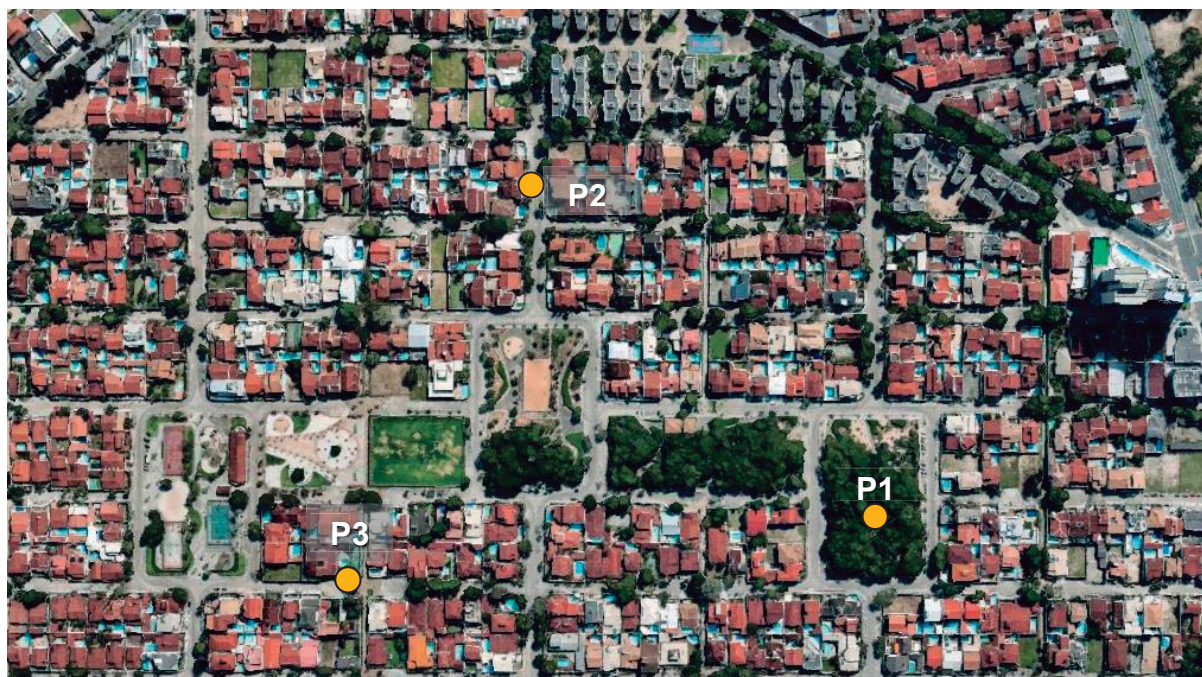
Gráfico 10 – Temperatura do ar no mês de agosto de 2017 (inverno) – destaque para o dia analisado



Fonte: A autora.

Também foram definidos 3 receptores (1, 2 e 3) na área para as simulações a fim de analisar pontualmente a variação de temperatura e umidade conforme as características da área, principalmente no que diz respeito a forma como a vegetação está presente (Figura 16).

Figura 16 – Área de estudo com definição dos pontos de amostragem

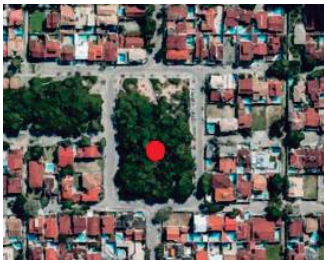










Fonte: Modificado a partir do Google Earth (2017).



Os locais definidos para os pontos de amostragem climática foram caracterizados a partir de visitas *in loco*, imagens via satélite e base gráfica, conforme Figura 17.

Figura 17 – Esquema de caracterização e localização dos pontos de amostragem climática

Caracterização dos pontos de amostragem					
Ponto 1	Imagem		Foto		<b>Caracterização do Entorno:</b> Região no interior da praça com massa adensada de vegetação de grande porte. <b>Localização:</b> LAT 20°16'28.07"S; LONG 40°17'16.27"O - Praça Aristóbulo Inocência Ferreira
	Croqui				
Ponto 2	Imagem		Foto		<b>Caracterização do Entorno:</b> Região ladeada por edificações de 1 e 2 pavimentos, e com arborização distribuída nas vias. <b>Localização:</b> LAT 20°16'27.36"S; LONG 40°17'28.54"O - Avenida Construtor David Teixeira
	Croqui				
Ponto 3	Imagem		Foto		<b>Caracterização do Entorno:</b> Região ladeada por edificações de 2 pavimentos e próxima de duas praças. Com pouca vegetação próxima. <b>Localização:</b> LAT 20°16'37.51"S; LONG 40°17'24.90"O - Rua Lauro Soares Machado
	Croqui				

Fonte das Imagens Aéreas: Google Earth (2017).



Portanto, a avaliação ocorreu de forma geral na área, avaliando a influência da vegetação e também o seu raio de influência; e também de forma pontual, avaliando a influência da vegetação em determinados pontos, conforme a quantidade de vegetação na área, em relação ao microclima urbano, sendo nesse estudo ponderado o comportamento das variáveis temperatura e umidade.

Como as simulações foram realizadas em dois períodos distintos, foram coletados dados e organizados dois arquivos de configuração (.cf), sendo um para o verão e outro para o inverno (Quadro 4).

Quadro 4 – Dados iniciais inseridos para simulação de verão e inverno

<b>Dados de Entrada – arquivo .cf</b>		
	<b>Verão</b>	<b>Inverno</b>
<b>Data do início da simulação</b>	24.02.2006	06.08.2017
<b>Horário do início da simulação</b>	21:00:00	21:00:00
<b>Tempo total da simulação (horas)</b>	24	24
<b>Registro dos dados (min)</b>	60	60
<b>Velocidade do vento a 10m (m/s)</b>	0.5	0.5
<b>Direção do vento (0:N..90:E..180:S..270:W..)</b>	5	300
<b>Comprimento de rugosidade z0</b>	0.01	0.01
<b>Temperatura potencial inicial [K]</b>	300	291
<b>Umidade específica a 2500m [g water/kg air]</b>	6.3	2.47
<b>Umidade relativa a 2m [%]</b>	90	73

Fonte: A autora.

Para o valor de velocidade do vento foi utilizado 0,5m/s para os dois períodos, conforme resultados no processo de calibração. O período determinado para o tempo de simulação também foi de 24 horas, com registro de dados a cada 60 minutos. As demais variáveis foram obtidas da mesma forma que foi feito na calibração.

Foi possível utilizar o mesmo arquivo .in produzido para a calibração, apenas alterando os pontos dos receptores, pois as informações são as mesmas a respeito das características da área.

Com a configuração básica definida, determinou-se os *grids* a serem utilizados (250x250x30) e as variáveis a serem registradas que, para esta pesquisa, foram temperatura e umidade relativa, assim como na calibração.

# 5

## Análise dos Resultados

---

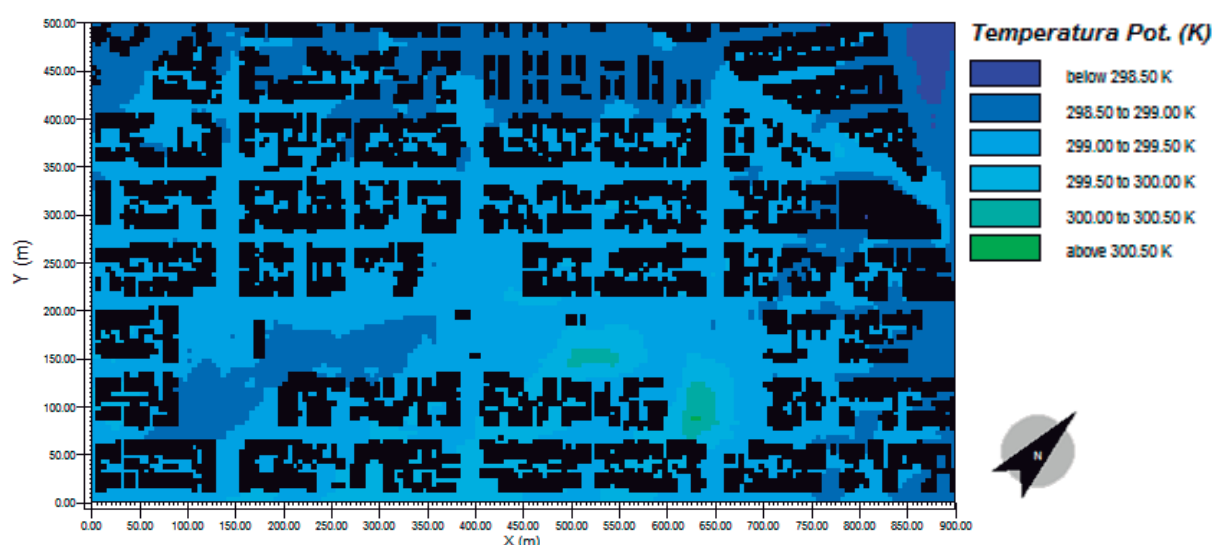


## 5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Conforme os resultados demonstrados a partir dos mapas gerados através da ferramenta Leonardo com corte na altura de 1,00m, nos horários determinados, com os dados obtidos pelas simulações no *software* ENVI-met, foi possível analisar o comportamento das variáveis temperatura potencial e umidade relativa na área de estudo, nas duas estações, de acordo com os dias previamente determinados.

No verão, às 9h, foi verificado que a presença da arborização não apresenta grande influência, visto que o ambiente esfriou durante a noite e começou a receber a radiação solar há poucas horas. Nesse período, os valores de temperatura variaram de 298,5K (25,35°C) a 300,5K (27,35°C), sendo que a maior parte da área registrou temperatura entre 299K (25,85°C) e 299,5K (26,35°C), conforme ilustra a Figura 18.

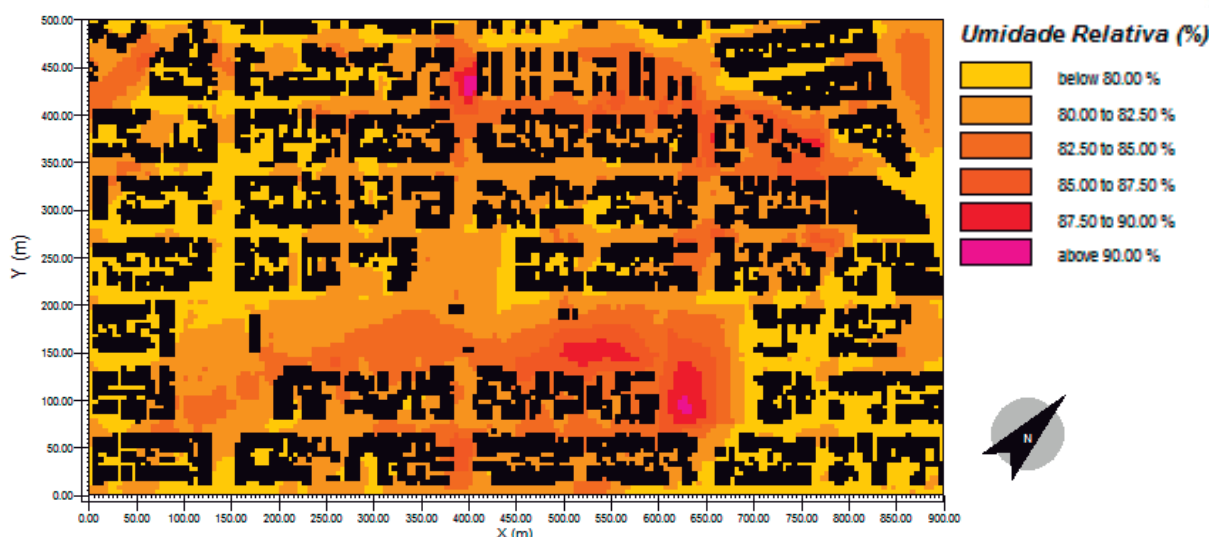
Figura 18 – Valores de temperatura potencial na área simulada para o período de verão (25/02/2006), às 9h



Fonte: A autora.

Diferentemente do comportamento da temperatura potencial nas horas iniciais do dia, para a umidade relativa registraram-se valores mais altos nas áreas que possuem vegetação no verão, às 9h. Os valores de umidade para esse horário variaram entre 80,0 e 90,0%, como é possível perceber na Figura 19, que ilustra o mapa gerado pelo Leonardo para essa variável, nesse horário. É possível comparar as áreas com registros de valores mais altos de umidade com a Figura 20, que demarca os trechos com maior concentração de vegetação na área de estudo.

Figura 19 – Valores de umidade relativa na área simulada para o período de verão (25/02/2006), às 9h



Fonte: A autora.

Figura 20 – Demarcação das áreas com maior concentração de vegetação na área de estudo



Fonte: Modificado a partir do Google Earth (2017).

O mapa de umidade relativa representado pela Figura 19, indica valores relativamente mais altos nas áreas verdes concentradas quando comparado com as vias arborizadas, registrando um pouco mais do que 2,5% de diferença. A transpiração estomática e cuticular que ocorre no processo de evapotranspiração da vegetação presente na área corrobora para a acentuação dos valores de umidade.

Observa-se que as regiões das praças, mesmo as que não possuem grande concentração de vegetação, são áreas abertas e permitem a circulação do vento mais livremente e, ainda, dispõem de materiais que absorvem menos calor do que as áreas

mais densamente construídas, constituindo-se locais mais agradáveis termicamente (Figuras 18 e 19).

Destaca-se, ainda, que a direção do vento de 5° em relação ao Norte, inserida para o início da simulação, também influencia no comportamento da temperatura e da umidade na área de estudo, auxiliando na redução da temperatura e no aumento da umidade na área. As Figuras 18 e 19 mostram que o alcance da redução dos valores de temperatura e o aumento dos valores de umidade pela presença da vegetação, tendem a espalhar conforme a direção do vento.

O ambiente construído também atua no microclima urbano, podendo auxiliar na redução do rigor térmico em alguns momentos do dia. No período matutino, no verão, a presença das edificações mais altas e sua disposição influem na temperatura e na umidade, protegendo algumas áreas da radiação solar direta, proporcionando sombra, o que protela o aquecimento de algumas superfícies (Figura 21).

Figura 21 – Esquema de sombreamento da área no verão (25/02), às 9h

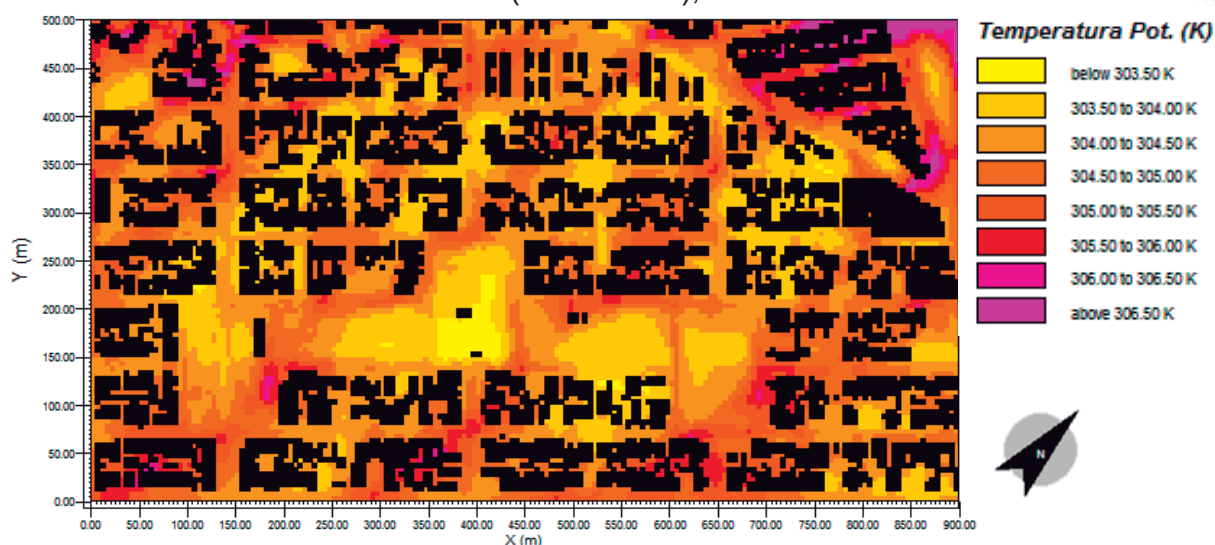


Fonte: Elaborado a partir do SketchUp (2017).

Porém às 15h, pode-se afirmar que os materiais advindos da urbanização, como o concreto e o asfalto, já se aqueceram e começam a liberar o calor acumulado, evidenciando as propriedades térmicas desses materiais. Além disso, a vegetação apresentará maior influência na temperatura da área nesse horário, pois o impacto da proteção da radiação solar direta e o resfriamento pela evapotranspiração são acentuados. É possível perceber que as regiões que possuem vegetação registraram temperaturas mais baixas (Figura 22).



Figura 22 – Valores de temperatura potencial na área simulada para o período de verão (25/02/2006), às 15h



Fonte: A autora.

Os resultados obtidos mostram que a concentração arbórea nas praças e no parque (Figura 23) possuem um raio de influência restrito, corroborando apenas para a redução de temperatura no entorno imediato, assim como a arborização presente nas vias. Os locais que possuem arborização apresentam temperaturas até 3,5K (3,5°C) mais baixas que outras áreas, demonstrando a influência da vegetação e também da morfologia urbana.

Figura 23 – Indicação da localização da Avenida Rosendo Serapião de Souza Filho, do Parque Municipal Mata da Praia e da Praça Aristóbulo Inocêncio Ferreira



Fonte: Modificado a partir do Google Earth (2017).

É possível verificar que o trecho da Avenida Rosendo Serapião de Souza Filho, que se caracteriza por intensa arborização, geralmente retrata situações mais amenas nos resultados das simulações (Figura 24).

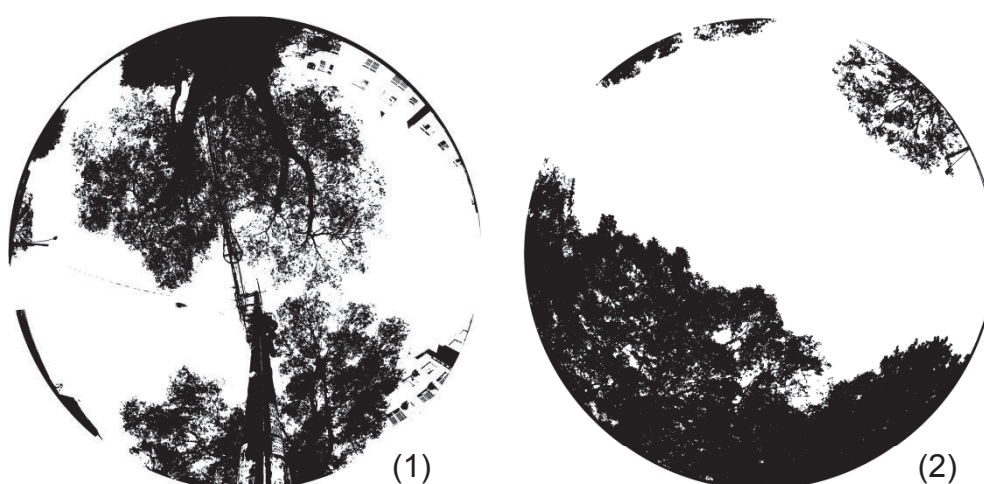
Figura 24 – Avenida Rosendo Serapião de Souza Filho



Fonte: A autora.

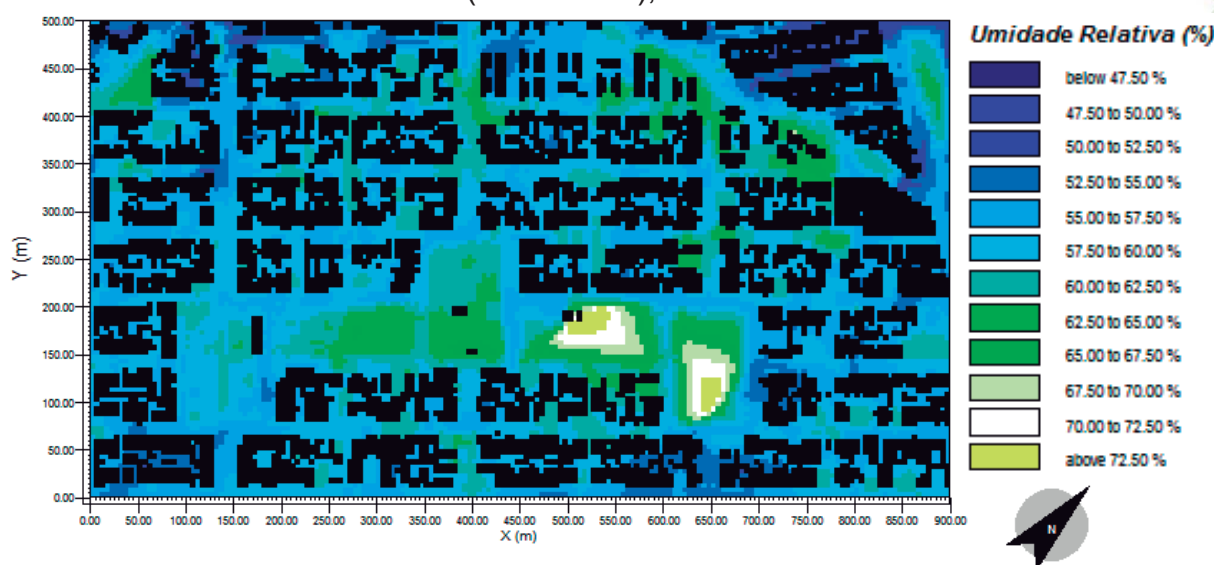
A Figura 25 mostra o fator de visão de céu (*Sky View Factor*) da Avenida Rosendo Serapião de Souza Filho e da rua entre o Parque Municipal Mata da Praia e a Praça Aristóbulo Inocêncio Ferreira, obtidas a partir de fotografia com lente olho de peixe. Verifica-se que, nos pontos fotografados, a obstrução do céu pela arborização é até maior na avenida do que na rua que margeia as áreas com vegetação concentrada.

Figura 25 – Visão de céu na Avenida Serapião de S. Filho (1); visão de céu na rua entre o Parque Municipal Mata da Praia e a Praça Aristóbulo I. Ferreira (2).



O mapa de umidade relativa referente às 15h, no verão, revela que as áreas com vegetação concentrada no Parque Municipal Mata da Praia e a Praça Aristóbulo Inocêncio Ferreira, apresentam valores um pouco mais altos quando comparadas com as vias com intensa arborização, registrando até 5% de diferença (Figura 26).

Figura 26 – Valores de umidade relativa na área simulada para o período de verão (25/02/2006), às 15h

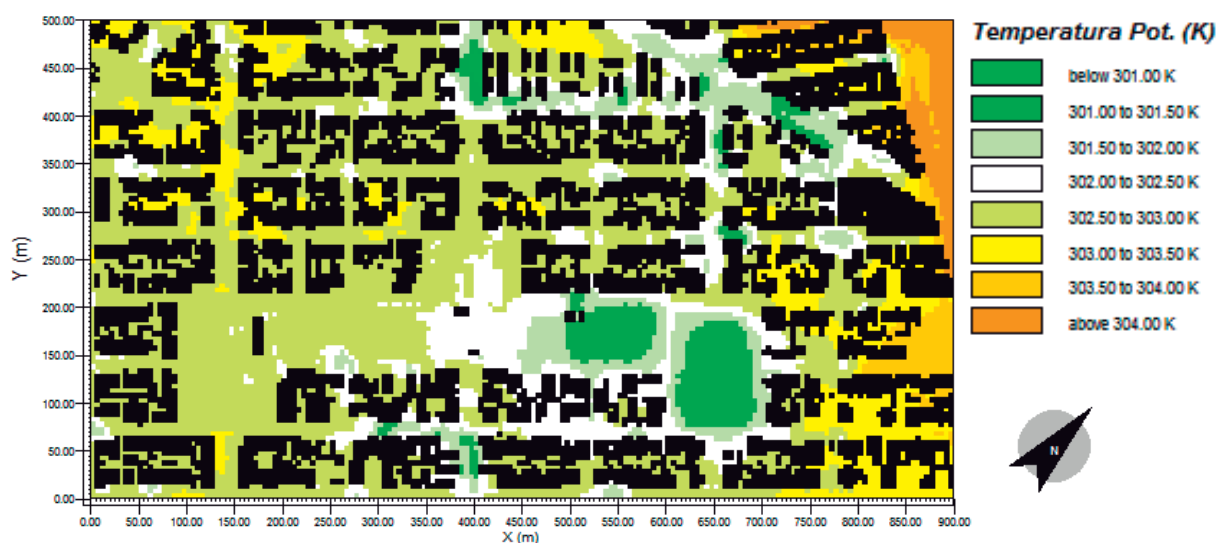


Fonte: A autora.

Verifica-se também a interferência da vegetação, gerando valores mais altos nas áreas com maiores concentrações, mas sem um raio de influência abrangente, registrando diferenças de até 15% entre as áreas arborizadas do Parque e na Praça, citados acima, e seus entornos, e até 25% de diferença em relação a outras áreas.

As áreas com vegetação concentrada, as 21h, apresentam as menores temperaturas e atuam no seu entorno propiciando temperaturas mais amenas, apontando um raio de influência mais abrangente do que no período da tarde (Figura 27).

Figura 27 – Valores de temperatura potencial na área simulada para o período de verão (25/02/2006), às 21h



Fonte: A autora.

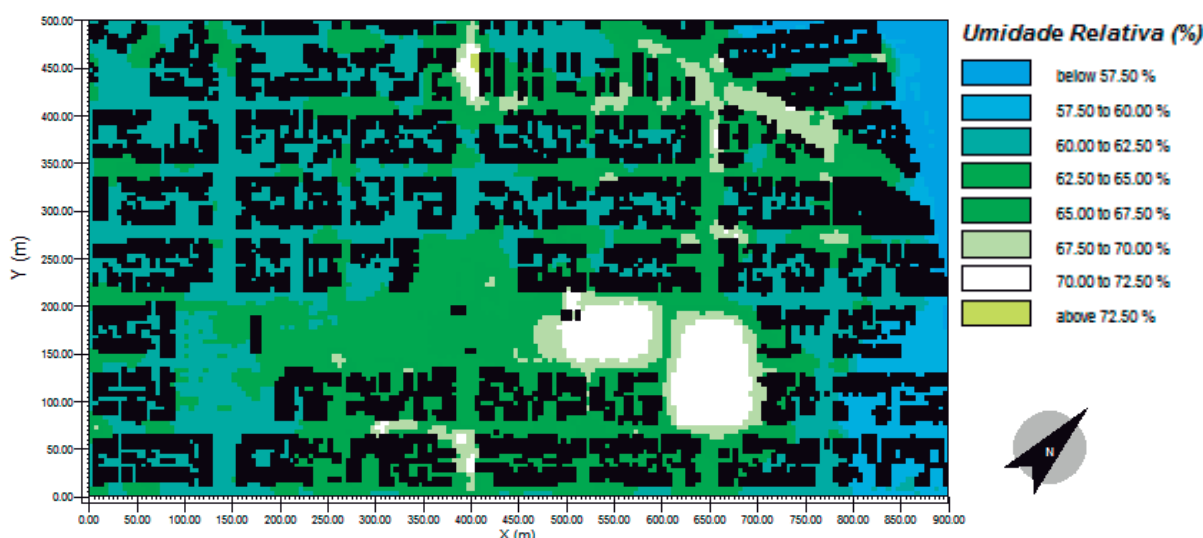


Foram registradas temperaturas entre 301,0K (27,85°C) e 301,5K (28,35°C), no período noturno, nas áreas com vegetação concentrada, reduzindo até 1K (1°C) a temperatura do entorno, enquanto outras áreas alcançaram temperaturas por volta de 303,5K (30,35°C).

Em uma análise das vias que possuem arborização presente na sua extensão, percebe-se que a redução da temperatura e o aumento da umidade ao longo do dia, verificando-se que as mesmas também contribuem para a composição de um microclima mais agradável termicamente na área.

O mapa de umidade relativa registra valores maiores nos trechos que concentram vegetação, sejam as praças ou as vias, chegando a aumentar mais de 10% em relação às demais zonas, às 21h, no verão. Também é possível verificar que o raio de influência da vegetação em relação à umidade, nesse contexto, é mais abrangente, colaborando para o aumento da umidade também no entorno da área, que juntamente com a redução da temperatura, propicia um ambiente termicamente mais confortável não apenas na área que possui vegetação, mas também no seu entorno (Figura 28).

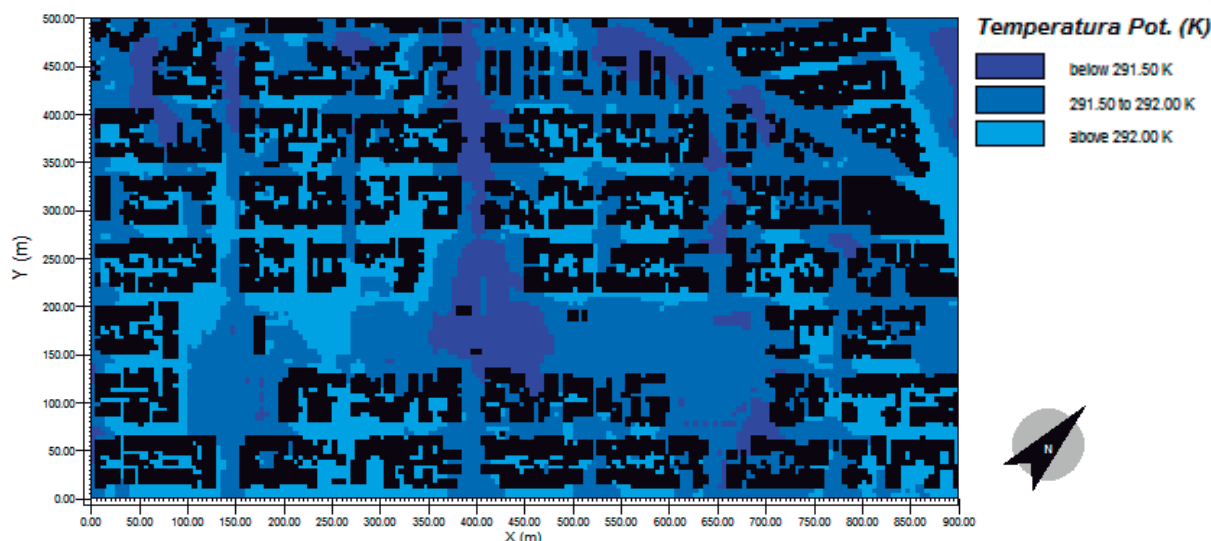
Figura 28 – Valores de umidade relativa na área simulada para o período de verão (25/02/2006), às 21h



Fonte: A autora.

No inverno, a presença da vegetação auxilia na amenização da temperatura a partir das primeiras horas do dia. Às 9h é possível perceber que as áreas que possuem vegetação e seus arredores, registraram temperaturas mais baixas, apesar do recorte total não apresentar grande variação de temperatura nesse horário (Figura 29).

Figura 29 – Valores de temperatura potencial na área simulada para o período de inverno (07/08/2017), às 9h

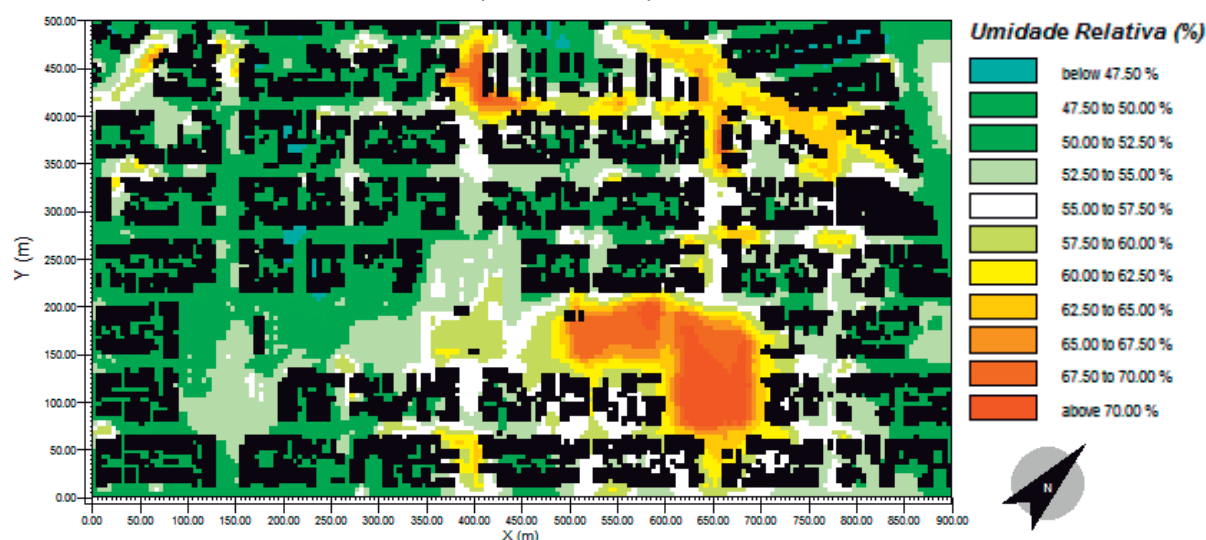


Fonte: A autora.

A vegetação concentrada e a vegetação presente nas vias colaboram de maneira equivalente na redução de temperatura da área, demonstrando valores menores de aproximadamente 1K (1°C) em relação às demais áreas.

O comportamento da umidade relativa às 9h no inverno na área de estudo, indica influência da vegetação aumentando os valores dessa variável. Os trechos que possuem vegetação concentrada registraram cerca de 20% de diferença na umidade em relação a outros trechos (Figura 30).

Figura 30 – Valores de umidade relativa na área simulada para o período de inverno (07/08/2017), às 9h



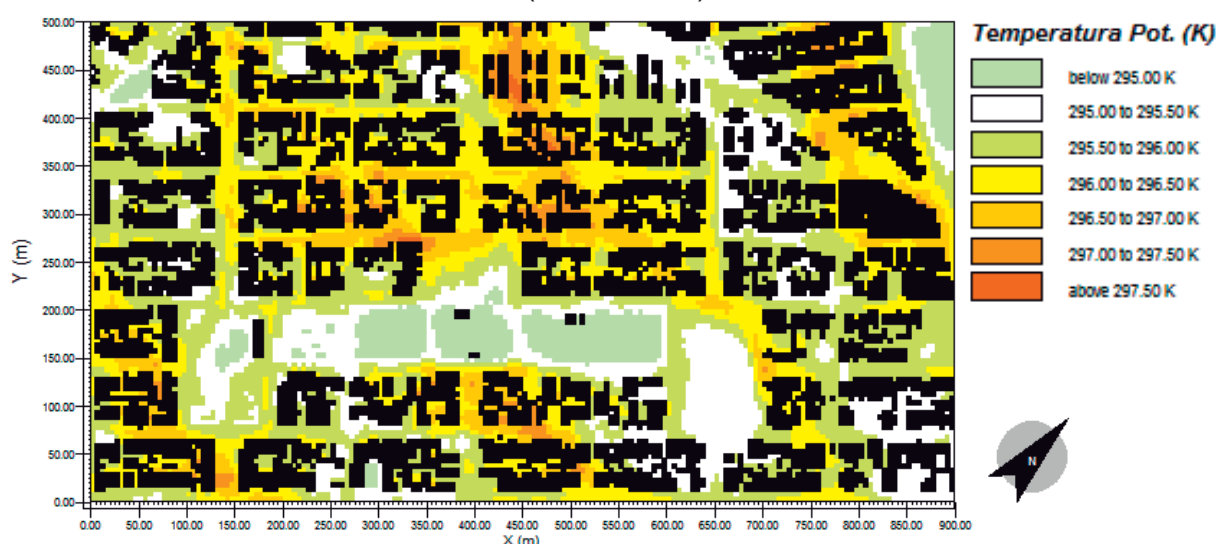
Fonte: A autora.

Assim como no verão, no período matutino, na estação do inverno registram-se maiores valores de umidade relativa nas áreas verdes concentradas do que nas vias com intensa arborização. No período matutino, o resfriamento noturno já propiciou condições similares de temperatura e umidade para toda a área, e o ambiente está apenas começando a receber a radiação solar. Com isso, a variação de temperatura é pequena, pois as superfícies ainda estão iniciando o processo de aquecimento e absorção de calor, não apresentando diferenças substanciais nos valores entre as áreas arborizadas e não arborizadas. Em relação à umidade relativa, a influência da vegetação já se destaca nas primeiras horas do dia devido ao processo de evapotranspiração.

Também é possível verificar que a propagação da redução de temperatura acontece de acordo com a direção do vento, nesse caso, 300° em relação ao Norte, que foi inserida nos dados de entrada da simulação.

No período vespertino, às 15h, no inverno, o comportamento da variável temperatura nas áreas arborizadas é similar ao verão. Neste caso, esses trechos apresentam temperaturas abaixo de 295,5K (22,35°C), expondo diferença de aproximadamente 2K (2°C) em relação ao restante da área (Figura 31).

Figura 31 – Valores de temperatura potencial na área simulada para o período de inverno (07/08/2017), às 15h



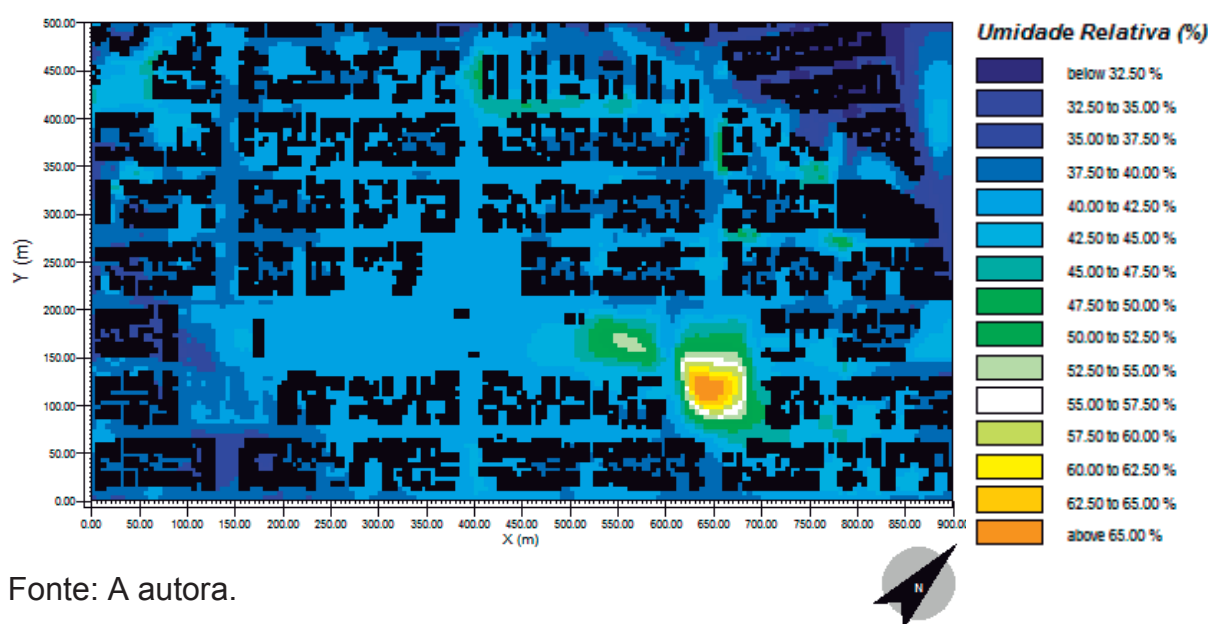
Fonte: A autora.



Nesse período, as áreas verdes concentradas e as áreas abertas, nas praças e no parque, apresentam, em sua maioria, valores menores de temperatura potencial do que as vias arborizadas.

Em relação à umidade relativa, nesse horário foi registrada grande diferença nos valores, com variação de mais de 30% em toda a área. O trecho que possui vegetação concentrada no Parque Municipal Mata da Praia e na Praça Aristóbulo Inocêncio Ferreira indicou os valores mais altos, chegando a 65,0% em um local (Figura 32).

Figura 32 – Valores de umidade relativa na área simulada para o período de inverno (07/08/2017), às 15h

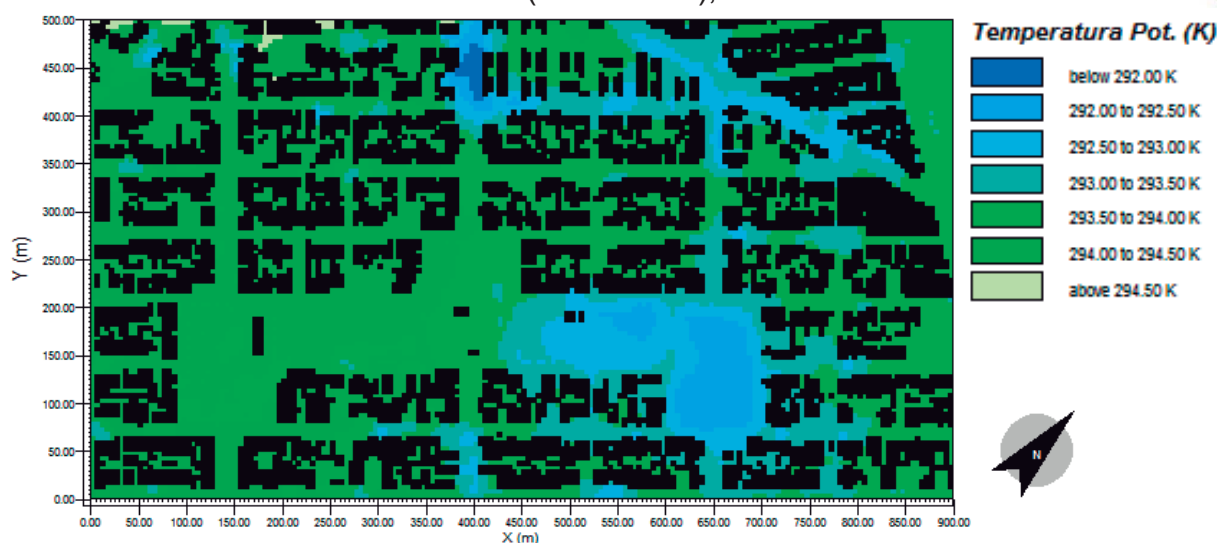


Fonte: A autora.

A configuração da cidade contribui para a elevação da temperatura e redução do resfriamento evaporativo. No período da tarde, o aquecimento do meio urbano atinge seu ápice devido à exposição excessiva à radiação solar, absorção de calor e reflexão da radiação e, também, liberação do calor absorvido. Contudo, a vegetação tende a manter o ambiente propício ao seu desenvolvimento, regulando a temperatura e a umidade, reduzindo o impacto dos materiais urbanos.

Destaca-se que a vegetação existente na área, às 21h no período do inverno, apenas interfere na redução de temperatura quando se encontra em maiores quantidades, registrando temperaturas até 2K (2°C) menores. As vias que possuem intensa arborização e as áreas verdes concentradas obtiveram resultados semelhantes nos valores de temperatura, registrando de 292K (18,85°C) a 293,5K (20,35°C) em sua maior parte (Figura 33).

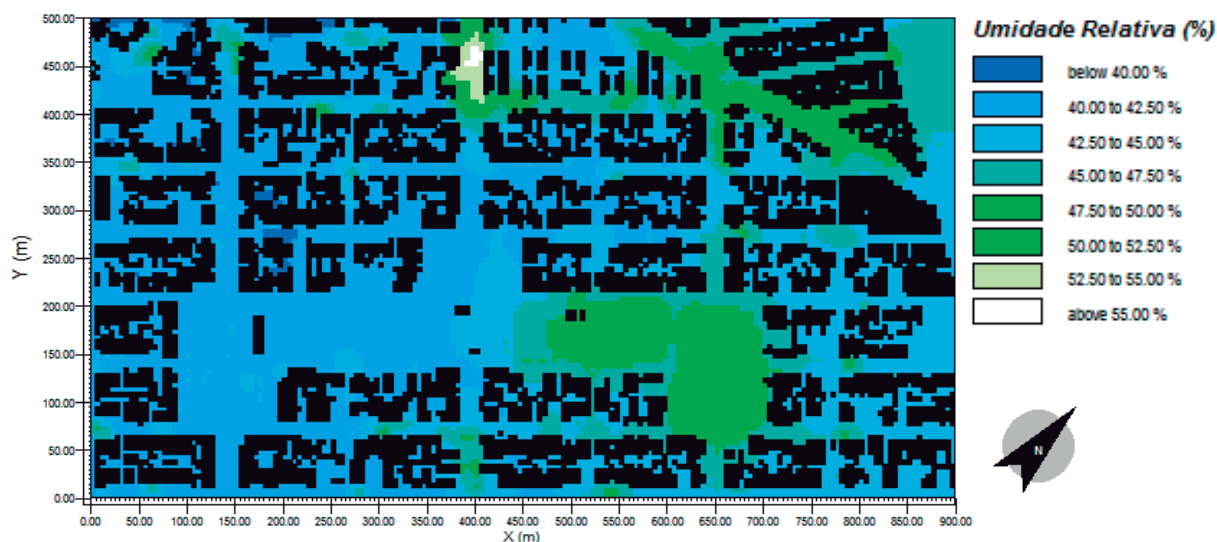
Figura 33 – Valores de temperatura potencial na área simulada para o período de inverno (07/08/2017), às 21h



Fonte: A autora.

No inverno, às 21h, é possível visualizar que os mapas de temperatura potencial e umidade relativa possuem comportamento bem semelhantes (Figura 34).

Figura 34 – Valores de umidade relativa na área simulada para o período de inverno (07/08/2017), às 21h

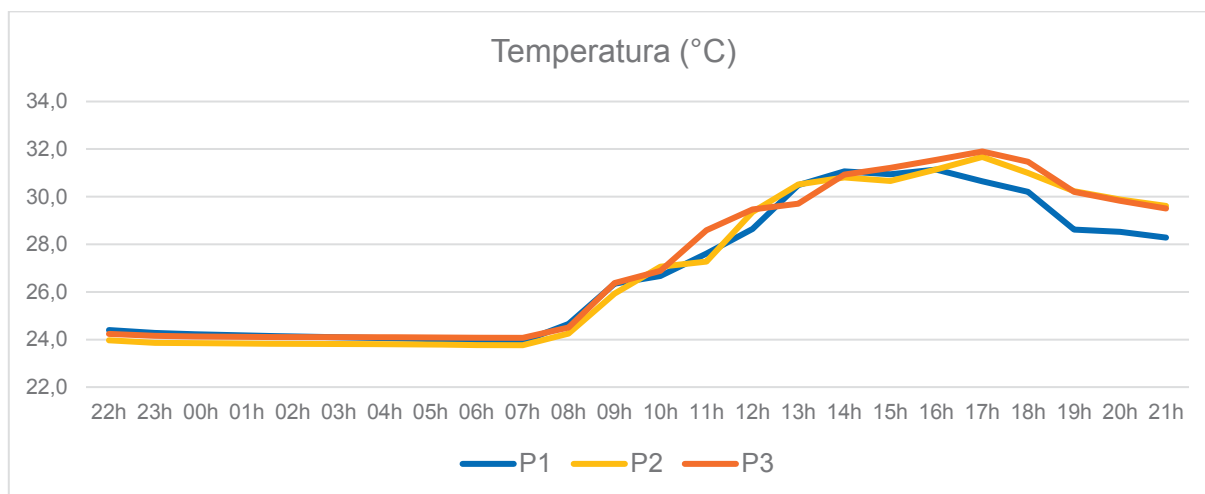


Fonte: A autora.

A umidade às 21h, no inverno, se comportou de modo equivalente à temperatura, porém um pouco mais restrito, mostrando valores mais altos nas áreas que possuem maior concentração de vegetação. Verifica-se a indicação de valores de umidade 10,0% mais altos nos trechos arborizados.

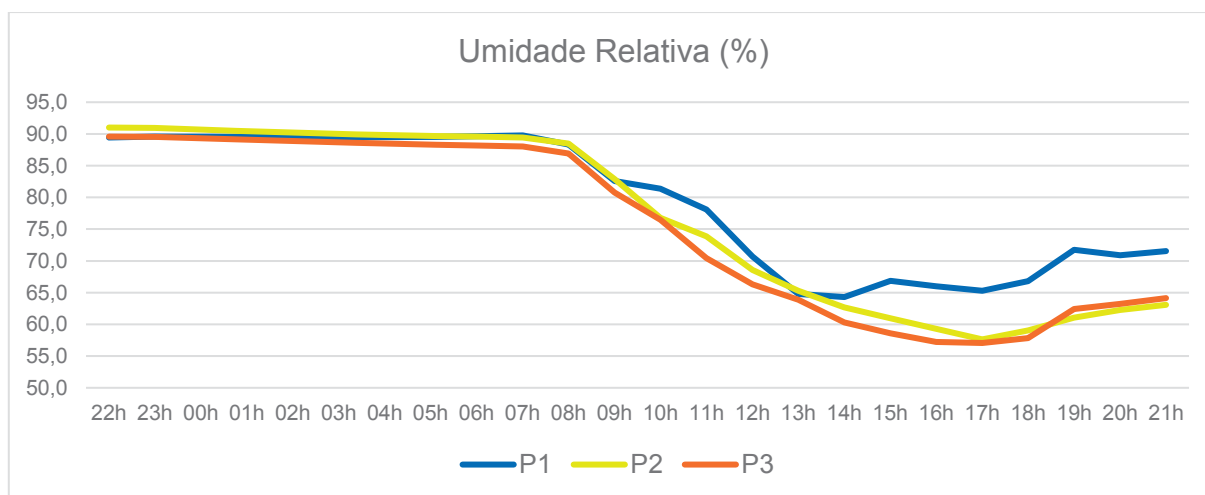
Avaliando o comportamento dos três receptores determinados também é possível perceber que a área da Praça Aristóbulo Inocência Ferreira (P1) apresenta, na maioria dos horários, em comparação com os outros pontos, os menores valores de temperatura e os maiores valores de umidade (Gráficos 11, 12, 13 e 14).

Gráfico 11 – Comparação entre os valores de temperatura dos três receptores determinados, no período do verão



Fonte: A autora.

Gráfico 12 – Comparação entre os valores de umidade relativa dos três receptores determinados, no período do verão

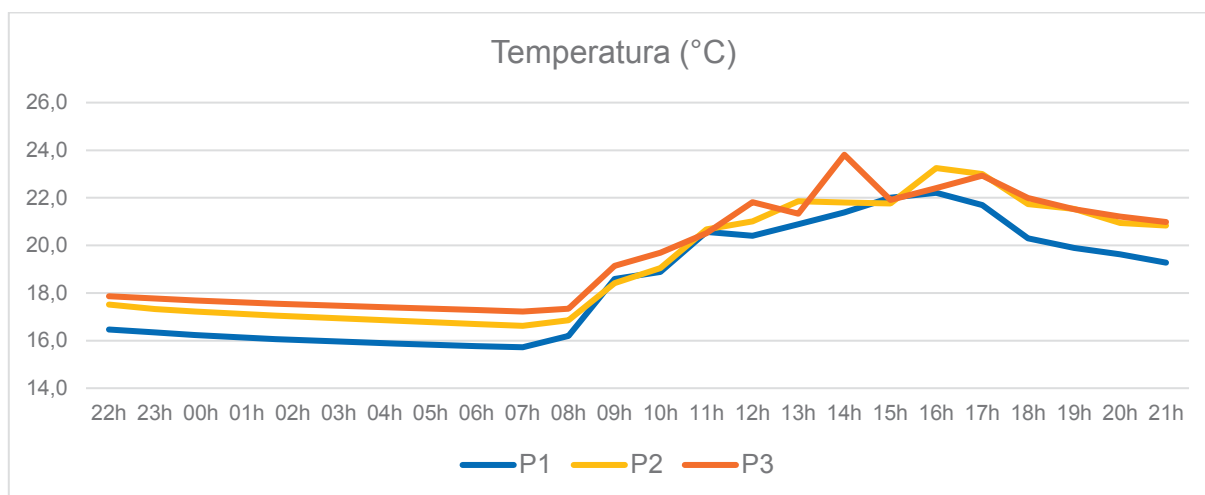


Fonte: A autora.

A umidade, no verão, se comporta com pouca diferença entre os três pontos, sendo que no período noturno inicial de simulação, quase não se difere. Em contrapartida, no inverno, a umidade apresenta uma diferença maior entre a área com vegetação concentrada na praça (ponto 1) em relação aos outros dois pontos. O ponto 2, que

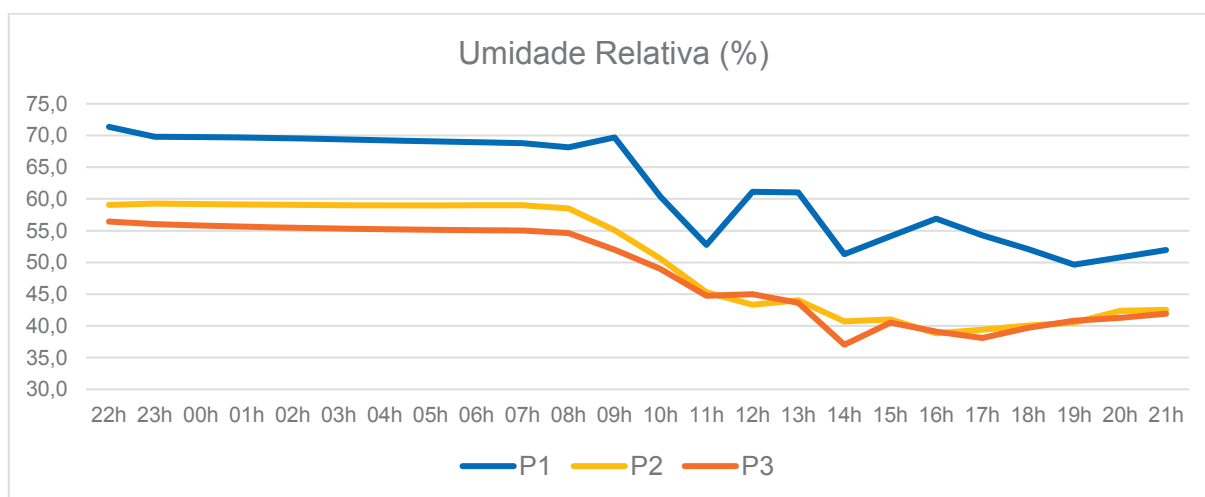
possui arborização na via, apresenta dados bem similares ao ponto 3, que, praticamente, não possui arborização.

Gráfico 13 – Comparação entre os valores de temperatura dos três receptores determinados, no período do inverno



Fonte: A autora.

Gráfico 14 – Comparação entre os valores de umidade relativa dos três receptores determinados, no período do inverno



Fonte: A autora.

A diferença entre os valores de temperatura também fica mais evidente durante o período de inverno, apontando os menores valores na área da praça, durante todo o dia.

Tanto em relação a temperatura quanto a umidade, nas duas estações, o ponto que possui arborização nas vias e o outro ponto que não possui, se comportam similarmente, visto que a arborização presente na Avenida Construtor David Teixeira, no ponto determinado, não é tão farta, conseqüentemente não influenciando muito nas variáveis em questão. Vale ressaltar que, mesmo não apresentando grande diferença nos valores de temperatura e umidade, é indiscutível a contribuição para a redução do rigor térmico que a arborização presente nas vias pode prover.

Os resultados obtidos através dos gráficos referentes aos receptores previamente determinados corroboraram com os verificados nos mapas de temperatura e umidade, indicando alteração nas variáveis climáticas citadas nas áreas que possuem maior quantidade de arborização.

No verão, a maior diferença identificada entre as áreas arborizadas e não arborizadas, em relação a temperatura e umidade foi às 15h, chegando a apresentar até 3,5°C de redução e 25% de aumento, respectivamente. Na estação do inverno, as maiores diferenças também foram identificadas às 15h, sendo 2,5°C de redução em relação à temperatura e 32,5% de ampliação da umidade.

No período noturno ainda foram identificadas disparidades nos valores das variáveis em relação à presença da arborização. Foi apontada uma diferença de 2,5°C de redução na temperatura e em torno de 10% de ampliação da umidade, tanto no verão quanto no inverno. A abrangência da influência da vegetação fica mais evidente no período noturno, considerando seu raio de atuação.

Como as superfícies existentes no meio urbano são, em sua maioria, impermeáveis, conseqüentemente absorvem e retêm mais calor, reabsorvem a radiação refletida, e ainda dissipam o calor em forma de calor sensível. Assim, essas áreas registram temperaturas mais altas e liberam à noite o calor acumulado durante o dia, possibilitando a formação de ilhas de calor, que nesse caso, o fenômeno se manifesta no nível do dossel urbano (UCL), ou seja, a zona de ocupação humana.

Em contrapartida, a vegetação dissipa o calor em forma de calor latente e seu processo de evapotranspiração auxilia no aumento da umidade e na redução de temperatura, corroborando para que as áreas vegetadas moderem o aquecimento urbano.

Foi possível verificar que a vegetação presente na área em grande quantidade nas vias e nas áreas verdes concentradas, se comportaram praticamente da mesma maneira na maior parte dos mapas analisados, em relação às variáveis temperatura e umidade, apresentando algumas pequenas diferenças, indicando que as áreas com concentração de vegetação possuem um desempenho um pouco melhor, quando comparado às áreas de vegetação linear ou distribuída.



# 6

## Considerações Finais

---



## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização da arborização como ferramenta para a atenuação do rigor térmico no meio urbano merece destaque principalmente nas localidades de clima quente, como no caso de Vitória, que possui clima tropical úmido e as temperaturas médias são maiores que 22°C durante o ano, chegando a alcançar temperaturas máximas acima de 31°C no verão.

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar a influência da presença da arborização em relação à produção de um microclima mais agradável termicamente no meio urbano, para cidades com clima tropical, quantificando os ganhos a partir de diferentes configurações de implantação arbórea, através de simulação computacional através do *software* ENVI-met 3.1.

Para alcançar este objetivo, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos, cujos resultados seguem sumarizados:

1 – Realizar a calibração do programa de simulação computacional ENVI-met para a situação climática de Vitória;

Após a comparação dos dados medidos e simulados, foi possível ajustar o programa para a situação climática de Vitória, validando o mesmo, e possibilitando a concepção de mapas térmicos para avaliação da área de estudo e também de pontos receptores caracterizando situações específicas.

2 – Avaliar o impacto que diferentes formas de configuração de arborização no meio urbano incidem nas variáveis climáticas temperatura e umidade;

Apesar dos desafios que surgiram devido à necessidade de gerar várias simulações para calibrar o programa, ao tempo gasto nas simulações e necessidade de computadores com capacidade adequada, as simulações permitiram avaliar o comportamento climático de um trecho no bairro Mata da Praia, em Vitória, no verão e no inverno, considerando as situações extremas, tomando como base os dados do dia mais quente e o dia mais frio dos últimos anos.

Para a análise da influência da vegetação no meio urbano, foram gerados mapas caracterizando o comportamento da temperatura e da umidade na área de estudo, em

diferentes horários, possibilitando comparar como as formas de configuração de arborização impactavam sobre os mesmos.

3 – Avaliar se a distribuição arbórea da área de estudo é favorável para a formação de um microclima urbano mais ameno;

Vale ressaltar que a região na qual se localiza a área de estudo, já possui uma quantidade de arborização nas vias, superior à maioria dos demais bairros de Vitória. Os estudos demonstram, portanto, que o bairro já possui condições favoráveis em relação à vegetação, favoráveis para auxiliar na melhoria das condições de conforto térmico para os transeuntes de maneira geral.

Foi detectado que a arborização em pequena quantidade nas vias dessa região, não ocasiona grande diferença na temperatura e umidade. Apenas quando a vegetação está presente em quantidades maiores (vias, praças e parques), é que verifica-se redução da temperatura e aumento da umidade.

Um dos pressupostos desta pesquisa indicava que a arborização distribuída ao longo das vias auxilia na atenuação do rigor térmico de forma mais eficiente do que as áreas verdes concentradas, porém foi possível verificar que as duas formas de implantação arbórea apresentam resultados similares no que diz respeito ao impacto no microclima, tanto na área que estão inseridos quanto em relação à abrangência da sua influência no entorno.

A vegetação atua no microclima urbano através do sombreamento e do seu processo de evapotranspiração. No entanto, na análise do dia mais quente e do dia mais frio registrado na cidade de Vitória nos últimos anos, foi possível perceber que a vegetação não teve uma influência tão abrangente no período do verão, diferentemente do esperado; já no inverno, a presença da vegetação causou maior influência em relação as variáveis climáticas analisadas.

Concluiu-se que para que a vegetação possa colaborar de maneira eficiente na promoção de um microclima mais agradável em Vitória, é importante que a mesma seja densa, tanto em áreas de praças e parques, quanto nas vias.

4 – Propor diretrizes para a utilização da arborização como estratégia de propiciar um microclima mais agradável em aglomerados urbanos de clima tropical.

O estudo do clima urbano e as particularidades locais é fundamental nos processos de planejamento que visam propiciar um microclima urbano mais confortável termicamente e o desenvolvimento de políticas públicas voltadas para a sustentabilidade urbana. A utilização “inteligente” dos recursos locais, tais como sol, vento e vegetação, dependem do efetivo conhecimento desses elementos e de sua correta utilização, seja para a melhoria das condições do lugar, seja para a contribuição na sustentabilidade global.

Vale ressaltar que a análise foi feita para a condição climática de Vitória e com as características da região do bairro Mata da Praia, o que não significa que os resultados encontrados serão os mesmos para outras localidades.

No entanto, diante dos resultados obtidos, sugere-se que nas áreas de expansão urbana da Região Metropolitana de Vitória, sejam considerados os espaços de calçadas mais largas que o padrão usual de Vitória, que permitam a inserção arbórea sem danos para o deslocamento do pedestre, e também a utilização de canteiros centrais arborizados. Já nas áreas consolidadas, deve-se avaliar o potencial de implementação de vegetação ao longo das vias bem como o potencial de arborização dos espaços livres urbanos – na forma de praças e parques – ainda abundantes na cidade. Observa-se, também, que tanto parques e praças como algumas vias arborizadas de Vitória podem ser adensadas visando a maior exploração dos benefícios ocasionados pelo uso intensivo da vegetação, seja como elemento auxiliar na produção de um microclima urbano mais agradável, seja para possibilitar o sombreamento das edificações.

Como proposta para pesquisas futuras, considerando que as simulações foram realizadas uniformizando as superfícies do entorno, sugere-se que sejam realizados estudos em que sejam considerados os materiais das pavimentações – principalmente as forrações verdes nas áreas vegetadas – visando identificar a influência desses elementos no microclima urbano.

7

Referências



## 7. REFERÊNCIAS

- ABREU, L. V. de. **Avaliação da escala de influência da vegetação no microclima por diferentes espécies arbóreas**. 2008. 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.
- ABREU, L. V.; LABAKI, L. C. Conforto térmico propiciado por algumas espécies arbóreas: avaliação do raio de influência através de diferentes índices de conforto. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, 2010.
- ASSIS, E. S. de; SIRQUEIRA, C. A. de; BAMBERG, A. M. **Influência da vegetação no microclima em ambiente simulado controlado**. In: XII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, VIII Encontro Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído, Brasília, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: desempenho térmico de edificações: parte 2: métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005.
- AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 15. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.
- BACK, Á. J.; OLIVEIRA, T. de S. A urbanização e as modificações do clima. In: GONÇALVES, T. M.; SANTOS, R. dos (Org.). **Cidade e meio ambiente**: estudos interdisciplinares. Criciúma, SC: Ed. UNESCO, 2010. p. 207-228.
- BRUSE, M. Simulating the effects of urban environmental on microclimate with a three-dimensional numerical model. In: Climate and Environmental Change, Conference Meeting of the Commission on Climatology, Evora, 1998.
- BRUSE, M. **Updated overview over ENVI-met 3.1 beta 5**. Disponível em: <<http://www.ENVI-met.com>>. Acesso em: 28 dez. 2015.
- CEPTEC. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. Dados históricos. Disponível em: <<http://www.ceptec.inpe.br>>. Acesso em: 13 jun. 2017.
- DACANAL, C.; LABAKI, L.C.; SILVA, T. M. L. Vamos passear na floresta! O conforto térmico em fragmentos florestais urbanos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 115-132, abr./jun. 2010.
- DEL CARPIO, J. A. V. **Uso de pigmentos de óxidos de metais mistos na pavimentação para mitigação da Ilha de Calor Urbana**. 2014. 437 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico. Florianópolis, 2014.
- DUARTE, D. H. S. **O impacto da vegetação no microclima em cidades adensadas e seu papel na adaptação aos fenômenos de aquecimento urbano: contribuições a uma abordagem interdisciplinar**. 2015. 167f. Tese (Livre Docência –



Departamento de Tecnologia) – Universidade de São Paulo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. São Paulo, 2015.

EMMANUEL, R.; ROSENBLUND, H.; JOHANSSON, E. Urban shading – a design option for the tropics? A study in Colombo, Sri Lanka. **International Journal of Climatology**, v. 27, p. 1995-2004, 2007.

FRANCISCO, R. C. A. **Clima urbano**: um estudo aplicado a Belo Horizonte, MG. 2012. 122 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

GARTLAND, L. **Ilhas de calor**: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

GIRIDHARAN, R; GANESAN, S; LAU, S.S.Y. **Daytime urban heat island effect in high-rise and high-density residential developments in Hong Kong**. Energy and Buildings, v. 36, n. 6, 2004. p. 525–534.

GOOGLE. **Software Google Earth 7**. Estados Unidos, 2013. Disponível em: <<http://www.google.pt/earth/>>. Acesso em: 23 fev. 2016.

GUSSON, C. dos S. **Efeito da densidade construída sobre o microclima urbano**: construção de diferentes cenários possíveis e seus efeitos no balanço de energia de áreas urbanas. 2014. 152f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2014

HEBBERT, M; JANKOVIC, V. Cities and Climate Change: The Precedents and Why The Matter. **Urban Studies**, 50 (7), p.1332-1347, 2013.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia: Dados Históricos. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em 27 jun. 2017.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7726** - Ergonomics of the thermal environment: Instruments for measuring physical quantities. 1998.

JOHANSSON, E. Urban Design and Outdoor Thermal Comfort in Warm Climates. Int J. Biometeorol. 2006. **CONFERIR REFERÊNCIA**

KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. Meteorologische Zeitschrift 15, p.259-263, 2006.

LABAKI, L. C.; SANTOS, R. F. dos; BUENO-BARTHOLOMEI, C. L.; ABREU, L. V. de. Vegetação e conforto térmico em espaços urbanos abertos. **Fórum Patrimônio**, Belo Horizonte, v. 4, n. 1, p. 23-42, 2011.

LANDSBERG, H. E. **The urban climate**. New York: Academic Press, 1981.

LOMBARDO, M. A. **Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo: Editora Hucitec, 1985.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MILLS, G.; CLEUGH, H.; EMMANUEL, R.; ENDLICHER, W.; ERELL, E.; MCGRANAHAN, G.; NG, E.; NICKSON, A.; ROSENTHAL, J.; STEEMER, K. Climate Information for Improved Planning and Management of Mega Cities (Needs Perspective). **Procedia Environmental Sciences**, 1, 2010, 228-246, 2010.

MILLS, G. Urban Climatology: History, status and prospects. **Urban Climate**, 10, 479-489, 2014.

MONTEIRO, C. A. de F. Teoria e clima urbano. In: MONTEIRO, C. A. de F.; MENDONÇA, F. (Org.). **Clima urbano**. São Paulo: Contexto, 2003. p. 9-67.

NOGUEIRA, A. M. P. **Configuração urbana e microclimas: estudo em loteamento horizontal de Maceió – Alagoas**. 2011. 184 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo: Dinâmicas do Espaço Habitado) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2011.

OKE, T. R. **Evapotranspiration in urban areas and its implication for urban climate planning**. In: Conference Teaching the Teachers on Building Climatology. Proceedings. The Nacional Swedish Institute for Building Research, v.2, 1973.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. 2.ed. London: Routledge, 2002, c 1987.

OKE, T. R. **Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites**. World Meteorological Organization, Instruments and Observing Methods, Report nº 81, nº 1250. Canadá: WMO/TD, 2006.

PMV. Prefeitura Municipal de Vitória: Dados Geográficos. Disponível em: <<http://legado.vitoria.es.gov.br/regionais/geral/geograficos.asp>>. Acesso em 09 ago. 2017.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE ARBORIZAÇÃO URBANA – SBAU. **Carta a Londrina e Ibiporã**. Boletim Informativo, v.3, n.5, p.3, 1996.

SHINZATO, P. **O impacto da vegetação nos microclimas urbanos**. 2009. 173 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo: Tecnologia da Arquitetura) – Universidade de São Paulo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. São Paulo, 2009.

SHINZATO, P. **Impacto da vegetação nos microclimas urbanos em função das interações solo-vegetação-atmosfera**. 2014. 205 f. Tese (Doutorado – Área de Concentração: Tecnologia da Arquitetura) – Universidade de São Paulo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. São Paulo, 2014.

UNIVERSITY OF WYOMING. **Dados de umidade específica**. Disponível em:  
<<http://weather.uwyo.edu/uppeair>>. Acesso em: 13 jun. 2017.

YU, C.; HIEN, W. N. Thermal benefits of the city parks. **Energy and Buildings**, n.38, 2006, p. 105-120.